

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE  
PRODUÇÃO - PPGE**

Fabício Eduardo Henriques

**GRAU DE ADOÇÃO DA MODULARIDADE EM PROJETO E EM  
PRODUÇÃO EM MONTADORAS AUTOMOTIVAS NO BRASIL:  
AVALIAÇÃO DE NOVOS DESENVOLVIMENTOS DE  
VEÍCULOS**

Dissertação submetida ao  
Programa de Pós-graduação em  
Engenharia de Produção da  
Universidade Federal de Santa  
Catarina para a obtenção do Grau  
de Mestre em Engenharia de  
Produção.

Orientador: Prof. Paulo Augusto  
Cauchick Miguel, PhD

Florianópolis

2013

## Catálogo na fonte elaborada pela biblioteca da Universidade Federal de Santa Catarina

Henriques, Fabrício Eduardo

Grau de adoção da modularidade em projeto e em produção em montadoras automotivas no Brasil : avaliação de novos desenvolvimentos de veículos / Fabrício Eduardo Henriques ; orientador, Paulo Augusto Cauchick Miguel - Florianópolis, SC, 2013.

139 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

Inclui referências

1. Engenharia de Produção. 2. Modularidade de produção. 3. Modularidade de projeto. 4. Indústria automobilística. 5. Adoção da modularidade. I. Cauchick Miguel, Paulo Augusto. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. III. Título.

Fabício Eduardo Henriques

**GRAU DE ADOÇÃO DA MODULARIDADE EM PROJETO E  
EM PRODUÇÃO EM MONTADORAS AUTOMOTIVAS NO  
BRASIL: AVALIAÇÃO DE NOVOS DESENVOLVIMENTOS DE  
VEÍCULOS**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de “Mestre em Engenharia de Produção”, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção.

Florianópolis, 28 de fevereiro de 2013.

---

Prof. Antonio Cezar Bornia, Dr.  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Paulo Augusto Cauchick Miguel, PhD  
Orientador  
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Lucila Maria de Souza Campos,  
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

---

Prof. Dr. Artur Santa Catarina,  
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

---

Prof. Dr. Marcelo Gitirana Gomes Ferreira,  
Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC





A minha família, principalmente aos  
meus filhos.



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos que me apoiaram nessa caminhada e ajudaram a torná-la realidade.

Ao meu orientador Prof. Dr. Paulo Augusto Cauchick Miguel, pelo suporte e pelas cobranças intermináveis, e por mostrar o caminho quando tudo parecia impossível.





## RESUMO

A modularidade é um tema muito discutido nos últimos anos, principalmente na indústria automotiva brasileira onde a literatura já relata aplicações. Após a década de 90, muitas montadoras foram instaladas no Brasil utilizando o conceito da modularidade de produção e, com os avanços das competências em desenvolvimento de produtos da engenharia nacional, surgem também projetos de carros que se utilizam de conceitos da modularidade de projeto. Nesse contexto, o trabalho visa identificar os projetos de veículos de passeio com participação da engenharia brasileira a partir do ano 2000 que se utilizam da modularidade, medir o grau de modularidade em cada projeto, comparando seus pontos em comum e suas diferenças. O grau de modularidade em cada tipologia analisada é obtido por meio da definição e análise de cinco quesitos em modularidade de projeto e quatro em modularidade de produção baseados na literatura que são classificados qualitativamente. Tanto as definições das características analisadas quanto os dados dos projetos foram obtidos através da análise da literatura, considerando dados empíricos de modo restrito. A proposta considera dimensões de análise relativas ao produto e a produção, estendendo o conceito de modularidade, propondo mensurar a sua adoção. Esta investigação sobre a adoção da modularidade desenvolve uma matriz que ilustra, classifica e compara a aplicação da modularidade em seis projetos de veículos selecionados para análise. O estudo conclui que a proposta de classificação da adoção da modularidade possibilitou mensurar o grau de adoção de modularidade nos projetos de veículos analisados, evidenciando diferenças na fabricação e condução dos projetos de veículos, embora apresente limitações. Por meio da proposta de classificação desenvolvida quatro projetos de veículo foram classificados com “produção modular e projeto modular”, um em “produção modular e projeto integral”, e outro como “produção convencional e projeto integral”.

**Palavras-chave:** Modularidade de produção; Modularidade de projeto; Indústria automobilística; Adoção da modularidade.



## **ABSTRACT**

Modularity is a much discussed topic in recent years, mainly in the Brazilian automotive industry where literature has reported some applications. After the 90's many factories were opened in Brazil using the concept of modularity in production and with the advances in product development in the country arise the concepts of modularity in design. In this scenario, the study aims to identify light vehicle projects designed with participation of Brazilian subsidiaries since 2000 that use modularity, to measure the degree of modularity in each project and compare them. The degree of modularity in each typology is obtained by defining and analyzing five characteristics of modularity in project and four characteristics in modularity in production based on the literature. Both definitions as those project data were obtained by analyzing the literature and classified qualitatively. The proposal considers dimensions of analysis as human resources management and property asset, extending the concept of modularity, measuring the adoption of modularity across a broad view. Research on the adoption of modularity develops a matrix that illustrates, compares and classifies the application of modularity in six vehicles projects selected. The study concludes that the proposed classification of adopting modularity appears possible to measure the degree of modularity adoption in the car projects analyzed, showing differences in manufacturing and developing projects. Through the proposed classification developed four car projects has been classified as "modular production and modular project", only one as "modular production and integral project" and another one as "non modular production and integral project".

**Keywords:** Modularity in production; design modularity; automobile industry; adoption of modularity.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Quantidade de publicações no Brasil por tipo de modularidade.....	24
Figura 2 – Características da indústria automotiva brasileira .....	46
Figura 3 – Tipos de projetos de desenvolvimento.....	55
Figura 4 – Classificação de competências em DP.....	57
Figura 5 – Etapas do trabalho .....	60
Figura 6 – Combinação das palavras-chave.....	62
Figura 7 – Comportamento relacional dos módulos sob a perspectiva de cada elemento da modularidade de projeto .....	79
Figura 8 – Nível de terceirização de atividades em arranjos modulares	89
Figura 9 – Matriz de classificação do grau de modularidade .....	114



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Localização das plantas de automóveis no Brasil. ....	47
Quadro 2 – Histórico brasileiro de desenvolvimento de veículos. ....	50
Quadro 3 – Palavras-chave empregadas. ....	62
Quadro 4 – Definições de sistemas modulares de produto e produção. ....	71
Quadro 5 – Módulos encontrados na literatura. ....	74
Quadro 6 - Elementos conceituais em modularidade de projeto.....	77
Quadro 7 – Classificação dos elementos de modularidade de projeto. .	91
Quadro 8 – Classificação dos elementos de modularidade de produção. .....	92
Quadro 9 – Projetos com participação da engenharia brasileira. ....	94
Quadro 10 – Módulos dos projetos de veículos selecionados relatados na literatura. ....	96
Quadro 11 – Grau de modularidade dos elementos analisados nos projetos selecionados. ....	111





## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BA – Bahia

CBU – *Completely Build Up*

CE - Ceará

CKD – *Completely Knocked Down*

DP – Desenvolvimento de Produto

GM – General Motors

GMB – General Motors Brasil

MG – Minas Gerais

OEM – *Original Equipment Manufacturer*

PE – Pernambuco

PR – Paraná

RJ – Rio de Janeiro

RS – Rio Grande do Sul

SP – São Paulo

SUV – *Sport Utility Vehicle*

VW – Volkswagen

VW – Volkswagen Brasil



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>23</b>
1.1	OBJETIVOS DO TRABALHO.....	25
1.2	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	26
<b>2</b>	<b>PRINCÍPIOS DA MODULARIDADE .....</b>	<b>29</b>
2.1	MODULARIDADE E SEUS CONCEITOS .....	29
2.2	TIPOLOGIAS DA MODULARIDADE.....	29
2.3	APLICAÇÕES DA MODULARIDADE E SUAS VANTAGENS	32
2.4	DIFICULDADES NA ADOÇÃO DA MODULARIDADE .....	35
2.5	A MODULARIDADE E A INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA BRASILEIRA.....	37
2.5.1	Cenário da modularidade de produção.....	37
2.5.2	Cenário das empresas e seu desenvolvimentos de produto.....	39
<b>3</b>	<b>CONTEXTO DO TRABALHO: O DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA BRASILEIRA.....</b>	<b>45</b>
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA BRASILEIRA ATUAL .....	45
3.2	HISTÓRICO DO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA BRASILEIRA ATUAL.....	47
3.3	ESTRATÉGIAS EM DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO ....	52
3.4	CLASSIFICAÇÃO DOS DESENVOLVIMENTOS REALIZADOS NO BRASIL .....	55
<b>4</b>	<b>MÉTODOS E TÉCNICAS DE PESQUISA.....</b>	<b>59</b>
4.1	ETAPAS DA PESQUISA.....	59
4.1.1	Elaboração do referencial teórico.....	61
4.1.2	Seleção e análise de projetos de veículos.....	64
4.1.3	Classificação da adoção da modularidade .....	64
<b>5</b>	<b>RESULTADOS - PARTE 1: DEFINIÇÃO DOS ELEMENTOS CONCEITUAIS E CRITÉRIOS PARA ANÁLISE DO GRAU DE ADOÇÃO DA MODULARIDADE .....</b>	<b>67</b>
5.1	DEFINIÇÃO DOS ELEMENTOS CONCEITUAIS .....	68
5.1.1	Arquitetura de produto.....	69
5.1.1.1	Definição de módulo .....	72
5.1.1.2	Elementos conceituais dos sistemas modulares .....	76
5.1.1.2.1	Definição dos elementos da modularidade de projeto e critérios para classificação dos projetos de veículos.....	78
5.1.1.2.2	Definição dos elementos da modularidade de produção e critérios para classificação dos projetos de veículos .....	84

<b>6</b>	<b>RESULTADOS - PARTE 2: SELEÇÃO, ANÁLISE E CLASSIFICAÇÃO DO GRAU DE ADOÇÃO DA MODULARIDADE.....</b>	<b>93</b>
6.1	SELEÇÃO DOS PROJETOS DE VEÍCULOS .....	93
6.2	ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS DOS PROJETOS DE VEÍCULOS SELECIONADOS.....	95
6.2.1	Projeto Fox .....	95
6.2.2	Projeto Celta.....	99
6.2.3	Projeto Meriva .....	101
6.2.4	Projeto Ecosport .....	103
6.2.5	Projeto Palio .....	105
6.2.6	Projeto Sandero.....	106
6.3	CLASSIFICAÇÃO DOS QUESITOS ANALISADOS .....	107
6.4	CLASSIFICAÇÃO DOS PROJETOS .....	112
6.5	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	113
<b>7</b>	<b>CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES DO ESTUDO E FUTURAS PESQUISAS.....</b>	<b>117</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>121</b>
	<b>APÊNDICE A – Roteiro para coleta de dados dos projetos.....</b>	<b>136</b>
	<b>APÊNDICE B – Tabela de pontuação para classificação dos níveis de modularidade.....</b>	<b>138</b>



## 1 INTRODUÇÃO

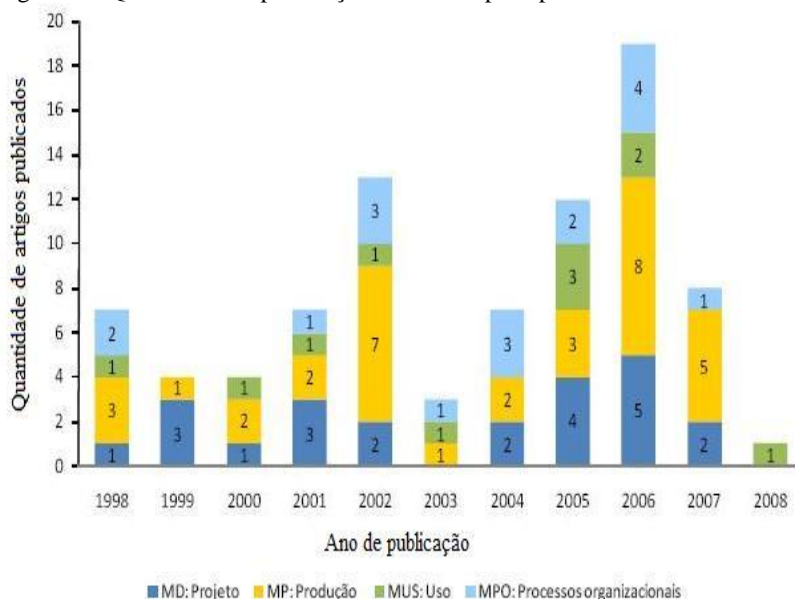
A indústria automotiva tem contribuído de forma significativa para os avanços tecnológicos e gerenciais desde seu surgimento. Desde que Henry Ford construiu a sua linha de produção em massa e, décadas mais tarde, quando a Toyota implantou seu sistema de produção, rapidamente esses sistemas produtivos foram difundidos não somente no setor automobilístico como também em empresas de outros setores. Os avanços no segmento automobilístico indicam que o setor comporta-se como um sinalizador de tendências. O que leva a creditar tal feito é também a exigência de seus consumidores e a intensa e constante concorrência neste segmento, que impulsiona as montadoras de veículos à constante evolução (SALERNO *et al.*, 2009; RO *et al.*, 2007).

Com a acirrada concorrência do mercado atual globalizado, no final da década de 90 inicia-se a aplicação de um novo conceito para a indústria automobilística brasileira naquele momento: a modularidade. A modularidade pode ser definida como resultante de um processo de construir um produto complexo a partir de subsistemas de menor escala, que podem ser projetados independentemente, mas que funcionam como um todo (BALDWIN; CLARK, 1997). O conceito visa também possibilitar o aumento do número de produtos no portfólio de uma empresa (ou o aumento de configurações disponíveis de um mesmo produto) e, principalmente, com redução de custos ou redução de *lead time*, dentre outros benefícios (ULRICH, 1995; MORRIS; DONNELLY, 2006). A modularidade é considerada uma estratégia, mas que pode exigir mudanças em áreas tais como o desenvolvimento de produtos, a organização da produção, os recursos humanos e outras áreas funcionais das unidades de negócio.

Das diferentes tipologias de modularidade existentes, o presente estudo tem seu foco para dois tipos: modularidade de projeto e a modularidade de produção, visando identificar as empresas que adotam essas tipologias. As tipologias escolhidas se justificam pela grande representatividade que tem em relação ao total de publicações sobre o tema, conforme relatado no trabalho de Carnevalli *et al.* (2011), mostrado na Figura 1. Na extensão temporal analisada no trabalho verificou-se que 40% do total de artigos eram sobre a modularidade de produção e 27% sobre a modularidade de projeto. Anualmente, os dois tipos juntos representaram mais da metade das publicações qualificadas (com exceção do ano de 2003), destacando sua importância como foco do trabalho de pesquisa. Deste modo, a maioria dos estudos está voltada ao uso da estratégia modular mais centrada na perspectiva de

desenvolvimento e/ou de fabricação do produto indicando que a aplicação da modularidade está mais focada em melhorar o projeto e a produção de veículos. Desta forma, mesmo em se tratando de um tema contemporâneo, pode-se inferir que a modularidade de projeto e de produção tem recebido maior atenção dos pesquisadores, inclusive já existem casos de aplicação dessas tipologias, principalmente no segmento industrial estudado. Este fato fornece um contexto relevante e propício para que seja investigado o grau de adoção desses tipos de modularidade no setor automobilístico brasileiro. Tendo isso como um dos propósitos do trabalho, são investigados alguns projetos de veículos onde existe a aplicação dos tipos de modularidade, buscando analisar dados referentes a esses projetos.

Figura 1 – Quantidade de publicações no Brasil por tipo de modularidade



Fonte: Carnevalli *et al.* (2011). Observação: não foram encontradas disponíveis outras publicações atualizadas após o ano de 2008.

Diferentemente de outros trabalhos que comparam aspectos da modularidade em projetos de carros de uma mesma montadora desenvolvidos localmente com carros desenvolvidos globalmente, como por exemplo, em Mello e Marx (2007a) e Fredriksson (2006b), ou trabalhos que comparam o grau de modularidade de alguns módulos



entre diferentes empresas (e.g. BATCHELOR, 2006), o presente estudo procura comparar o nível de modularidade em carros desenvolvidos e produzidos no país em diferentes montadoras. Uma parte relevante deste trabalho de pesquisa corresponde a realização de uma análise bibliométrica sobre as publicações sobre o tema. Esta análise da literatura não identificou publicações nacionais ou internacionais que apresentassem tal proposta. Somado a este fato, tem-se ainda a significativa relevância do Brasil em termos do progresso na aplicação da modularidade, já ressaltada há mais de 10 anos por Salerno (2001), nos dois tipos estudados, considerando o cenário global da indústria automotiva. Além disso, existe a dificuldade de “mensurar” o grau de modularidade em um determinado produto, já destacado na literatura (e.g. MORRIS; DONNELLY, 2006) e ainda compará-lo entre diferentes fabricantes. A proposta de apresentação dos dados coletados neste trabalho segue a linha de trabalho de Salerno (2001), substituindo a apresentação dos dados de diferentes montadoras do país (realizado em um amplo estudo sobre a indústria automotiva nacional), por uma classificação de projetos de veículos de passeio desenvolvidos na última década, com participação da engenharia brasileira, segundo o seu grau de adoção da modularidade.

É importante ainda destacar que o trabalho não pretende estender-se e medir o grau de modularidade de produtos de maneira geral, mas sim, dentro do enfoque investigado, como estabelecem os objetivos a seguir.

## 1.1 OBJETIVOS DO TRABALHO

O objetivo geral da dissertação é desenvolver uma proposta para mensurar o grau de adoção da modularidade de projeto (desenvolvimento de produto) e de produção em projetos de veículos de montadoras automotivas no Brasil, com participação da engenharia brasileira, em um recorte a partir do ano 2000. Associado a esse objetivo geral, têm-se os seguintes objetivos específicos:

- Identificar as empresas e os projetos de desenvolvimento de veículos de passeio realizados no Brasil na última década;
- Identificar na literatura os elementos conceituais de modularidade de projeto e de produção que possibilitem verificar o grau de adoção dessas tipologias de modularidade (projeto e produção) nos projetos de veículos, resultando na elaboração de um quadro conceitual com os elementos identificados;

- Propor uma classificação dos projetos de veículos selecionados, segundo as suas características de modularidade em projeto e em produção posicionando-os segundo o grau de adoção da modularidade.

A necessidade em medir o grau de modularidade em um produto é evidente na literatura, com diversas tentativas já realizadas em diferentes produtos (e.g. MIKKOLLA; GASSMANN, 2003 e BATCHELOR, 2006). A dificuldade em fazê-lo também é destacada por Morris e Donnely (2006). O fato de não haver uma maneira simples e universalmente difundida de realizar essa tarefa dificulta que sejam analisados os *trade offs* existentes no desenvolvimento e na fabricação de produtos modulares, já destacado (e.g. MIGUEL; HSUAN, 2010). Quanto maior a dificuldade de compreensão de um determinado fenômeno, pode-se afirmar que maiores são as dificuldades em sua adoção e utilização. Para realizar a classificação dos projetos há a necessidade de medir ou ao menos compará-los relativamente. Deste modo, o trabalho visa propor uma maneira de mensurar o grau de modularidade de projeto e de produção em veículos produzidos no país, procurando contribuir para a maior compreensão da modularidade no setor automotivo.

## 1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Como já citado anteriormente, a dificuldade em realizar tal mensuração faz voltar-se a atenção em como o trabalho é conduzido. Primeiramente, é de suma importância que seja realizada uma revisão da literatura sobre o tema, buscando as principais definições e características da modularidade (em projeto e em produção). Também faz-se necessário identificar na literatura elementos conceituais que permitam propor uma classificação dos projetos selecionados de acordo com a presença ou não desses elementos definidos conceitualmente.

Para consecução dos objetivos apresentados na seção anterior, esta dissertação está estruturada da seguinte forma: o referencial teórico inicia no segundo capítulo apresentando os conceitos básicos sobre a modularidade, suas tipologias, aplicações, vantagens e dificuldades encontradas na adoção da estratégia modular. Por fim, faz um panorama geral da modularidade na indústria automotiva nacional e dos projetos que envolvem a modularidade em cada empresa.

O terceiro capítulo apresenta o contexto onde o estudo é investigado, focando no desenvolvimento de veículos na indústria

automotiva brasileira, a caracterização, histórico, estratégias e classificação desses desenvolvimentos de produtos realizados no Brasil.

O quarto capítulo descreve os procedimentos metodológicos de pesquisa, bem como os métodos e técnicas adotados no trabalho de pesquisa, para sua condução. O capítulo também apresenta a definição dos projetos de veículos, bem como os critérios propostos para definição do grau de adoção da modularidade em projeto e em produção, mostrando como os quesitos são classificados e analisados.

O quinto capítulo apresenta um dos resultados da revisão bibliográfica, apresentando a definição dos elementos conceituais de modularidade de acordo com a literatura que dá suporte para as decisões de classificação dos projetos de veículos analisados e descritos no capítulo seguinte.

O sexto capítulo apresenta o desenvolvimento da classificação dos projetos de veículos, iniciando pela seleção desses projetos e a análise das características dos projetos selecionados em relação a adoção dos elementos da modularidade. Ao comparar os projetos de veículos, uma matriz para classificação dos projetos é apresentada, segundo o grau de adoção da modularidade nas duas tipologias estudadas. Em seguida, é discutido, a partir da literatura e de algumas evidências empíricas, os aspectos que interferem no grau de adoção da modularidade, bem como os resultados apresentados.

No sétimo e último capítulo, são apresentadas as conclusões do trabalho, relatando as suas limitações e sugestões para futuras pesquisas.



## 2 PRINCÍPIOS DA MODULARIDADE

Este capítulo apresenta um panorama teórico da modularidade, seus tipos, a aplicação na indústria automotiva, seu relacionamento com o desenvolvimento de produtos e a evolução histórica da participação das equipes de engenharia brasileira em desenvolvimentos locais.

### 2.1 MODULARIDADE E SEUS CONCEITOS

Ulrich (1995) propõe a distinção da arquitetura de produto em modular ou integrada. A arquitetura de produto modular inclui o mapeamento de um por um dos elementos funcionais na estrutura de funções dos componentes físicos do produto, e especifica as interfaces dissociadas (ULRICH, 1995), para que dessa forma possa se iniciar a identificação de módulos para a construção de um produto modular.

Segundo Fine (1998), uma arquitetura de produto modular possui componentes separáveis que são intercambiáveis, individualmente atualizáveis, em que as interfaces são padronizadas e possibilitam uma fácil detecção de falhas do sistema. Ou seja, a arquitetura modular prevê que módulos sejam totalmente modificados, respeitando-se o padrão das interfaces para com os outros módulos, sem exigir que os demais tenham que ser alterados.

Dentro desse contexto geral, que é a arquitetura de produto modular, Baldwin e Clark (1997) definem o conceito de modularidade como o processo de construir um produto complexo a partir de subsistemas de menor escala, que podem ser projetados independentemente, mas que funcionam como um todo. Estes autores complementam ainda que a modularidade é uma estrutura de projeto particular onde há interdependência entre os sub-sistemas e componentes do próprio módulo e independência entre os módulos (BALDWIN; CLARK, 2000), sendo a modularidade uma estratégia para organizar, eficientemente, produtos e processos complexos.

### 2.2 TIPOLOGIAS DA MODULARIDADE

A modularidade é comumente classificada em diferentes tipologias. Para melhor conceituar o tema no campo da engenharia de produção seguem os principais tipos de modularidade encontrados na literatura, seguido de suas definições:

- Modularidade de projeto ou produto;

- Modularidade de produção ou processo;
- Modularidade organizacional;
- Modularidade de uso.

A modularidade de projeto, também denominada modularidade de produto, é uma tipologia que acontece nas fases de desenvolvimento do projeto de um produto, e pode ocorrer quando etapas de um projeto de um determinado produto são realizadas de forma independente e até mesmo paralelamente. Essa tipologia também ocorre quando da concepção de um produto procura-se identificar, ainda nas fases de projeto, as possíveis interações dos diferentes componentes buscando a formação de sistemas (módulos) independentes entre si. Campagnolo e Camuffo (2009) classificam essa tipologia em 3 perspectivas:

- funcional (das interações dos componentes), sob o ponto de vista da arquitetura técnica;
- de ciclo de vida, sob o ponto de vista de processo (do desenvolvimento ao declínio);
- mista, combina os dois tipos anteriores, considerando tanto a arquitetura do produto e o processo necessário para modularizá-lo.

Essas três perspectivas podem também ser concebidas como três fases evolutivas da pesquisa de modularidade em projeto. Essa tipologia pode tornar um projeto mais ágil, com a realização de atividades paralelas, e criação de possibilidade de economia de escala (em módulos compartilhados por diferentes produtos), através de uma arquitetura de produto padronizada, além de uma configuração de produto tardia. De forma resumida, Mikkola e Gassman (2003) afirmam que a modularidade de projeto refere-se a uma estratégia de desenvolvimento de novos produtos na qual as interfaces entre os componentes compartilhados em uma determinada arquitetura de produto são especificados e padronizados para permitir uma maior possibilidade de substituição dos componentes entre as famílias de produtos.

Já a modularidade de produção, ou de processo, racionaliza um produto em componentes e permite que as peças sejam padronizadas e

produzidas de forma independente antes da montagem para o sistema final (BALDWIN; CLARK, 1997). Juntamente com a modularidade de projeto são tidas como as tipologias mais comuns de modularidade, e podem ser exemplificadas pelo “efeito Lego®”, onde a produção de um determinado componente pode ser acoplada a uma outra, produzida independentemente e até paralelamente, através de uma conexão padrão.

A modularidade organizacional pode ser definida conforme Martin e Eisenhardt (2002), que afirmam que a modularização de uma estrutura organizacional depende do desenvolvimento de uma clara definição das tarefas responsáveis a cada unidade organizacional nos vários níveis hierárquicos das organizações. Dessa maneira, podem ser feitas tarefas interdependentes em uma unidade e independente entre as unidades organizacionais, incluindo equipes, departamentos ou divisões. A modularidade em relação aos processos organizacionais é associada às estruturas de governança e procedimentos de contratação que são adotados para acomodar a produção modular no contexto interno à empresa ou entre empresas (CAMUFFO, 2000). Pode-se aqui ressaltar que uma unidade organizacional modular pode executar projetos modulares, e ainda possuir uma produção modular, ou seja, a modularidade pode ser amplamente empregada em uma determinada empresa nas diferentes tipologias existentes.

Por fim, a modularidade em uso é definida como um tipo de modularidade em que o usuário possa acrescentar elementos que diferenciem o produto de sua forma anterior, ou seja, um produto é modular em uso, se os próprios consumidores puderem misturar e combinar componentes para conseguir a função desejada (BALDWIN; CLARK, 1997).

Há também uma variedade de termos frequentemente usados em conexão com modularidade; expressões como: “componentes intercambiáveis”, “capacidade de misturar e combinar”, “interfaces padronizadas”, e “planejamento de plataforma”. Todas estas expressões promovem a reutilização de alguma fração do produto através de famílias de produtos ou gerações, enquanto personalizam a fração restante (FIXSON, 2003).

Ainda que seja um tema ainda em consolidação, é possível afirmar que todo sistema é modular de alguma forma: poucos sistemas são compostos de partes que interagem e afetam uns aos outros de maneira tão dependente que não há oportunidade para misturar e combinar algum dos subsistemas de que são feitos. Alguns sistemas ou alguns produtos são mais propensos a utilização da modularidade, então

abre-se espaço para a discussão de quando um produto é mais modular que outro. Segundo Campagnolo e Camuffo (2009), o grau de modularidade do sistema será maior se os ganhos alcançados através de uma estrutura modular são maiores do que aqueles alcançáveis através de uma estrutura integrada. Sendo que os ganhos considerados são os motivadores do desenvolvimento do produto, como redução de custo e *lead time*, tempo de desenvolvimento, aumento do desempenho etc.

Essa discussão pode ser extensa, ainda mais quando se admite que um produto possa ser mais modular em determinada tipologia e menos em outra tipologia do que outro produto. De qualquer maneira, em relação a definição de todas as tipologias da modularidade Jacobs *et al.* (2011) definem objetivamente que o princípio fundamental, aplicado a todas as tipologias, é claro: modularidade representa um sistema hierarquicamente agrupado. Este agrupamento pode ser definido pela estrutura da arquitetura do produto ou pela lógica funcional.

## 2.3 APLICAÇÕES DA MODULARIDADE E SUAS VANTAGENS

A modularidade é uma tendência presente em vários setores industriais, incluindo o segmento de informática, de livros, móveis, dentre outros (BALDWIN; CLARK, 1997; SCHILLING, 2000). É uma característica crescente nos produtos de outros setores como na indústria aeronáutica, química, eletro-eletrônica, telecomunicações, naval, serviços bancários, seguros e outros (BRUSONI; PRENCIPE, 2001; ANDO, 2004).

Na indústria automobilística brasileira e mundial, pode ser verificada uma tendência crescente de implementação da arquitetura modular nos veículos, sendo que no país, a modularidade é aplicada na indústria automotiva desde a segunda metade da década de 90 (SALERNO *et al.*, 2009).

Pesquisadores e profissionais afirmaram que a modularidade de produto tem efeitos positivos em várias dimensões do desempenho competitivo (FEITZINGER; LEE, 1997; FISHER *et al.*, 1999; KUSIAK, 2002; SUZIK, 1999; TU *et al.*, 2004).

As principais motivações que suportam a introdução do conceito modular foram para: reduzir a complexidade do produto (VELOSO; FIXSON, 2001; ISHII; YANG, 2003), diminuir os recursos para o desenvolvimento do produto (DORAN *et al.*, 2007; ARNHEITER; HARREN, 2005; ISHII; YANG, 2003), reduzir tempo do ciclo de desenvolvimento (SANCHEZ; COLLINS, 2001; ISHII; YANG, 2003; DANESE; FILIPPINI, 2010), aumentar a variedade de produtos



(ORSATO; WELLS, 2007; SANCHEZ; COLLINS, 2001), e flexibilidade da produção (LAU *et al.*, 2007; SANCHEZ; COLLINS, 2001). Outros benefícios decorrentes da sua aplicação estão associados aos fornecedores, como melhorar os níveis de conformidade (ARNHEITER; HARREN, 2005), permitir o envolvimento do fornecedor na montagem (HOEK; WEKEN, 1998), e aumentar a parceria entre a montadora e fornecedores no desenvolvimento de novos produtos (SILVA; ROZENFELD, 2007).

Como benefícios estratégicos, Baldwin e Clark (2004) citam a maior facilidade no gerenciamento de produtos e processos complexos, por meio da divisão em módulos mais simples. Dessa maneira, oferece a possibilidade de executar atividades de produção em paralelo, já que os módulos podem ser manufaturados simultaneamente e a capacidade de poder adaptar a produção às incertezas futuras, pois o produto final pode ser modificado pela adaptação de um único módulo, que exige custo mais baixo do que refazer o produto por completo (BALDWIN; CLARK, 2004).

O trabalho de Ishii e Yang (2003) ainda relata outros benefícios relacionados a existência das interfaces padronizadas tais como: atualizações eficientes, maior facilidade de teste, diagnóstico de falhas e manutenção nos produtos e melhor estruturação de conhecimento do projeto.

Os benefícios proporcionados pela modularidade podem ser subdivididos em tangíveis e intangíveis (CARNEVALLI *et al.*, 2011). Os benefícios tangíveis são relacionados, principalmente, ao aumento da flexibilidade da produção (HOEK; WEKEN, 1998; CONNOLLY, 2007), melhoria da produtividade (SPATH; BAUMEISTER, 2001; ARNHEITER; HARREN, 2005), redução do tempo de desenvolvimento de produto (FRIGANT; LUNG, 2002; ARNHEITER; HARREN, 2005), e redução de custos (ZHANG *et al.*, 2002). E os intangíveis destacam-se a melhoria do serviço pós-venda, aumento da parceria com a montadora (ARNHEITER; HARREN, 2005), e melhoria da qualidade (PIRES, 2002; FREDRIKSSON, 2006a).

O estudo de Jacobs *et al.* (2011) fornece uma evidência empírica, por meio de um estudo de caso, das vantagens de aumentar a modularidade dos produtos no portfólio da empresa. Segundo a publicação, a modularidade de produto facilita a modularidade no processo, gera agilidade de produção e melhora o ROI (*return on investment*), ROS (*return on sales*) e a participação de mercado. O crescimento na participação de mercado implica que os produtos modulares obtêm um sucesso significativamente maior no mercado,

onde os consumidores sentem-se atraídos pela customização e podem pagar mais por isso ou, numa situação de paridade de preços, tendem a escolher o produto customizado, neste caso gerando incremento de vendas e incremento na lucratividade, ou até mesmo na situação de paridade de preços podem ter maior rentabilidade através da redução de custos de produção.

Worren *et al.* (2002) constataram que a modularidade de produto está positivamente relacionada a flexibilidade estratégica, medida em termos de variedade de modelos e taxa de introdução de produtos, que por sua vez influencia o desempenho financeiro da empresa. Alguns autores (e.g. JACOBS *et al.*, 2011; KUSIAK, 2002; SUZIK, 1999; TU *et al.*, 2004) relatam que a modularidade de produto afeta diversas dimensões do desempenho competitivo, como custo do produto, qualidade, flexibilidade e tempo de ciclo de produção. Lau *et al.* (2007; 2010), ainda considerando o impacto da modularidade de produto nas capacidades de manufatura (flexibilidade e serviço ao cliente), adicionam benefícios relacionados com o desempenho do produto, medido em termos da satisfação do cliente, atingimento das metas de vendas e de lucro e da lucratividade de produtos. Os autores citados concluem que empresas com produtos modulares podem lançar rapidamente novos produtos podendo satisfazer as constantes mudanças das necessidades do mercado atual.

Uma maneira em que a modularidade de produto pode facilitar a agilidade de manufatura é a própria decomposição do produto em módulos. Os módulos produzidos em paralelo, sem consequências avessas a montagem, podem diminuir o *lead time* de manufatura. A decomposição pode permitir a previsão de módulos ao invés de produtos acabados, proporcionando assim uma melhor gestão de estoque. A decomposição facilita o uso da estratégia de *postponement*, que normalmente minimiza o inventário e reduz o custo total (SWAMINATHAN; TAYUR, 1998 *apud* JACOBS, 2011).

Segundo Jacobs (2011), a modularidade do produto pode direcionar a modularidade do processo, pois uma empresa pode configurar seu processo produtivo para combinar com a arquitetura de produto, alinhando as prioridades de manufatura com as escolhas de projeto. Assim, as células de trabalho podem ser dedicadas a um módulo ou família de módulos.

A variedade de modelos potenciais pode motivar o uso de tecnologias de processo modular, tais como sistemas flexíveis de manufatura (DURAY *et al.*, 2000), ou seja, a modularidade de produto

permite a variedade de produtos a ser gerido sem um aumento substancial dos custos de estoque e produção.

## 2.4 DIFICULDADES NA ADOÇÃO DA MODULARIDADE

O gerenciamento da modularidade de projeto e de produção é muito mais complexo do que o abordado na literatura. A literatura tem tratado essas duas modalidades independentes uma da outra, sem identificar os *tradeoffs* e dilemas potenciais (CAUCHICK MIGUEL; HSUAN, 2010). Ro *et al.* (2007, p. 17) já sinalizavam há alguns anos com possíveis problemas em não se adotar a modularidade de forma mais geral: “quando empresas que produzem produtos não modulares desejarem migrar seus produtos para uma arquitetura modular, a mudança deve ocorrer a nível de conceitos e projetos, e não meramente na montagem do produto”.

Outra barreira para aplicação da modularidade encontrada na literatura é o grande risco da transferência das atividades de projeto no desenvolvimento de novos produtos aos fornecedores de módulos. Esta prática envolve muitas responsabilidades, interfaces e transferência de competências entre montadoras e fornecedores, que se não realizadas adequadamente podem gerar riscos aos envolvidos e perda de conhecimento - *know-how* - (CARNEVALLI *et al.*, 2011). Algumas dificuldades advindas da transferência de atividades podem ser citadas como: encontrar fornecedores capacitados para fabricarem os módulos, risco de perda de controle de alguns projetos (ARNHEITER; HARREN, 2005), dispersão das atividades e recursos (FREDRIKSSON, 2006a), limitação do projeto dos módulos à capacidade atual dos fornecedores em fabricá-los (SANCHEZ; COLLINS, 2001), dificuldade de realizar o balanceamento da linha de montagem, pois os diferentes módulos têm tempo de montagens diferentes (FREDRIKSSON, 2006c), e lidar com o aumento do risco da linha parar se houver falhas de qualidade ou de entrega dos módulos pelos fornecedores (LARSSON, 2002; FREDRIKSSON, 2006a; 2006c).

Muitas dificuldades estão relacionadas a cadeia de suprimentos devido às alterações de uma cadeia de suprimentos tradicional, para uma que forneça produtos modulares (HOEK; WEKEN, 1998; DORAN, 2005) e de atender a montadora de forma sincronizada (FREDRIKSSON, 2006c); riscos pela transferência de atividades da montadora para os fornecedores, gerando dependência da montadora dos seus fornecedores de módulos (GADDE; JELLBO, 2002); necessidade de investimentos, como por exemplo, no investimento requerido para

capacitar os fornecedores a fabricar os módulos (DORAN, 2002; ARNHEITER; HARREN, 2005); e aumento de custos para os fornecedores.

Para os fornecedores, a aplicação da modularidade aumenta a sua dependência em relação às decisões tomadas pela montadora que o fornecedor atende (HOEK; WEKEN, 1998; HOLMES, 2004). Além disso, as maiores dificuldades enfrentadas por estas empresas estão relacionadas com a necessidade de investimento para estar capacitada para fornecer os módulos (PIRES, 1998; DORAN, 2002; ARNHEITER; HARREN, 2005) como, por exemplo, investir na contratação de mão de obra para a montagem dos módulos (ARNHEITER; HARREN, 2005) e a necessidade de se fazer alterações na cadeia de suprimentos, tais como:

- Necessidade de transferir as operações não importantes para fornecedores de segundo e terceiro nível da cadeia de suprimentos (GADDE; JELLBO, 2002);
- Produzir *Just in Time* (JIT) ou de modo sincronizado (DORAN, 2004) e, em alguns casos, de necessidade de até estar localizada próximo da montadora para facilitar a entrega dos módulos (FRIGANT; LUNG, 2002; DORAN, 2005; FREDRIKSSON, 2006c);
- Habilidade de entregar módulos na linha de produção da montadora (DORAN, 2004);
- Necessidade de ter operações flexíveis à variação de demanda (DORAN, 2003).

Outro aspecto que pode afetar negativamente os produtos concebidos através de módulos é no que se refere à manutenção, ao se detectar um problema em um determinado componente, talvez seja necessário a substituição de todo o módulo ao qual este componente faça parte, o que acarretaria em um maior custo de manutenção.

A partir do exposto, observa-se que a maioria dos benefícios da aplicação da estratégia modular na cadeia automotiva tende a favorecer as empresas montadoras, enquanto que a maioria das dificuldades de aplicação tem atingido os fornecedores dessas montadoras (CARNEVALLI *et al.*, 2011). O tópico seguinte mostra o desenvolvimento da indústria automotiva do país, e a evolução das competências em desenvolvimento de produtos das montadoras.

## 2.5 A MODULARIDADE E A INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA BRASILEIRA

Em uma indústria tão competitiva quanto o setor automotivo, onde as reduções de custo e pequenas margens de lucro são constantes, uma vantagem estratégica no projeto e desenvolvimento de produto é a chave para a sobrevivência (RO *et al.*, 2007). Neste cenário, a modularidade torna-se uma importante ferramenta competitiva em busca de economia de escala e até mesmo da diferenciação de um produto.

O foco nesse setor industrial é justificado pela sua intensa e constante concorrência, que impulsiona as montadoras automotivas a estarem em constante evolução e, ainda, por aplicar há algum tempo o conceito de modularidade (CARNEVALLI *et al.*, 2011). Na indústria automobilística brasileira e mundial, pode ser verificada uma tendência crescente de implementação da arquitetura modular (SALERNO *et al.*, 2009). Evidentemente que cada projeto desenvolvido no país, ou em cada planta, pode ou não fazer uso da modularidade. Cabe ao presente trabalho identificar quais projetos e plantas utilizam essa estratégia produtiva e/ou de desenvolvimento de produto, e em qual grau de utilização. Essa última afirmativa é o principal foco dessa investigação e seu maior propósito. Um panorama geral sobre o cenário dessas tipologias de modularidade na indústria brasileira é apresentado a seguir.

### 2.5.1 Cenário da modularidade de produção

De fato, a modularidade na produção não é algo tão novo. Os fabricantes sempre dividiram seus complexos processos de montagem em partes ou módulos buscando melhor gerenciamento (FREDRIKSSON, 2006a) e, afinal, a organização da produção após o sistema de Ford já buscava maiores níveis produtivos antes mesmo dos primeiros estudos sobre a modularidade, que datam da década de 60. Os primeiros sinais no país, do que viria a se tornar a modularidade de produção surgem em 1983, especificamente para a montagem de um módulo para o painel do Escort da Ford, que preparou uma linha paralela na planta de São Bernardo (SALERNO, 2001).

Após o desmembramento da Autolatina, parceria entre VW e Ford, surge em 1996, a planta localizada em Resende - RJ para fabricações de caminhões VW, reconhecida mundialmente como o caso extremo de aplicação da modularidade de produção. Nesta planta, os fornecedores, também chamados de modulistas, foram instalados dentro da própria fábrica e realizam a montagem de forma direta, não existindo

mão-de-obra própria da VW na linha de montagem. Este arranjo produtivo foi denominado consórcio modular, e este caso foi alvo de intenso estudo durante vários anos, tanto pelas inovações e níveis de produção como pelas dificuldades de gestão do pessoal dentre outras dificuldades.

Após o complexo industrial de Resende, veio a planta da Ford em Camaçari - BA (*Amazon Project*) em 2001, onde alguns fornecedores preferiram não ficar instalados dentro da montadora (SALERNO, 2001). Esta configuração foi denominada condomínio industrial. Esta planta é diferente de um parque industrial convencional ou de uma região com elevada concentração de indústrias, pois lá a montadora controla totalmente a área onde os principais fornecedores (também chamados de sistemistas) estão alocados. A montadora negocia benefícios com o governo local, oferece o terreno e a infra-estrutura básica, além de projetar um sistema de produção compatível com os módulos do produto e de definir quais módulos devem ser produzidos no condomínio. Quase que simultaneamente, uma planta modular da GM para a produção do Celta (*Blue Macaw Project*) foi inaugurada em Gravataí, sendo uma mistura de condomínio e consórcio modular (SALERNO, 2001), o arranjo de produção modular serve para otimizar o processo de montagem do veículo; ao invés de inúmeras peças e componentes isolados, a linha recebe conjuntos de componentes pré-montados, também chamados de módulos ou sistemas modulares.

Uma das diferenças entre a organização modular e convencional é o perfil dos fornecedores do 1º nível que passam a entregar módulos completos e prestar novos serviços. O número de fornecedores diretos da montadora pode se reduzir, na medida em que cada sistemista (fornecedores de módulos) entrega um grande volume de componentes, podendo inclusive gerir estoques da montadora; na estrutura convencional, a montadora tem muitos fornecedores diretos no primeiro nível da cadeia de suprimentos (sistemistas), o que dificulta o gerenciamento dessa base de fornecedores e também dos estoques.

As plantas citadas foram projetadas e construídas para serem aplicados os conceitos de modularidade na produção. No entanto, outras também fazem uso desse sistema produtivo além de utilizarem também outra tipologia de modularidade no desenvolvimento de projetos de veículos, e são caracterizados mais a frente.

## 2.5.2 Cenário das empresas e seu desenvolvimento de produtos

As atividades de desenvolvimento de produtos são menos centralizadas nas empresas veteranas localizadas no Brasil (Fiat, VW, GM e Ford) do que nas empresas entrantes (QUADROS; CONSONI, 2009; IBUSUKI *et al.*, 2012). Com a maior integração nas estratégias globais comandadas por suas matrizes, estas subsidiárias brasileiras mudaram substancialmente suas estratégias de desenvolvimento de produtos.

As montadoras entrantes do segmento de carros de passeio, Toyota, Honda, PSA Peugeot-Citroen, Renault/Nissan, Hyundai e Daimler quase que não mantém atividades mais elaboradas de engenharia, associadas ao processo de DP no Brasil, e algumas não contribuem com o desenvolvimento de pesquisas tecnológicas (CONSONI, 2004). A autora complementa ainda que, na época, nestas empresas os automóveis lançados no país tinham suas atividades de projeto e produto realizadas no exterior, e as adaptações necessárias a condições do mercado local eram informadas à engenharia das suas matrizes, que se encarregava de adequar os veículos segundo tais exigências.

Essas atividades chamadas de tropicalização, embora necessárias para as montadoras, não determinam a consolidação de departamentos mais estruturados de engenharia do produto no Brasil, as quais são justificadas pela menor participação de mercado dessas empresas em *market share* (embora apresentem tendências de aumento de participação). Dessa maneira, algumas dessas empresas não oferecem condições para análise do grau de adoção da modularidade de projeto, um dos focos do trabalho.

Das companhias entrantes, Quadros e Consoni (2009) já destacavam a Renault como uma montadora com atividades um pouco diferenciadas, dado que a total centralização das atividades de engenharia na matriz implicava em menor agilidade das operações da subsidiária no Brasil (DIAS, 2003). O trabalho de pesquisa já sinalizava para uma tendência gradual de reversão da total centralização das atividades de engenharia na matriz. Em trabalho mais recente, Ibusuki *et al.* (2012) confirmam esta tendência e já ressaltam a Renault como executora de algum tipo de atividade de engenharia em um desenvolvimento derivativo local (Sanderó) e ainda acrescenta a PSA-Peugeot também com tal capacidade de desenvolvimento (exemplo do modelo Hoggar), porém ainda sem especificar quais as atividades e em qual nível foram executadas. Ambas as empresas apresentam estratégias

de ampliar a participação da engenharia local através de seus centros de desenvolvimento no Brasil, respectivamente inaugurado em 2006 e o outro anunciado em 2007.

Como a evolução das competências em desenvolvimento de produtos da engenharia brasileira na indústria automotiva deve-se basicamente a evolução da capacidade das empresas veteranas, um breve panorama individual de cada subsidiária é descrito a seguir:

- **General Motors:** esta subsidiária tem sido incorporada nos projetos globais de pesquisa e desenvolvimento, sendo um dos cinco centros de desenvolvimento da empresa. O projeto Meriva fez com que a subsidiária evoluísse suas competências de desenvolvimento de produtos, o qual a empresa foi responsável por todas fases de DP, do conceito a validação (CONSONI; QUADROS, 2006). O *status* de centro de competência em desenvolvimento de produto (DP) e engenharia foram alcançados através deste projeto. Hoje o centro possui capacidade para sediar o desenvolvimento de projeto e fabricação de veículos de médio porte (SUV) e com a liberdade de participação em outros globais (AMATUCCI; MARIOTTO, 2012). Recentemente, a GM divulgou em seu site oficial, que as picapes SUV globais Trailblazer e Colorado apresentadas em 2011 na Tailândia, foram desenvolvidos no centro brasileiro. O *staff* atual é composto por 1.500 engenheiros, seu centro inclui laboratórios e o campo de provas para teste de protótipos, em Indaiatuba (SP), construído em função das condições de rolagem das estradas e ruas brasileiras. Além de ser único na América Latina e um dos poucos no mundo, é considerado pela GM um dos mais severos do mundo, e o terceiro em termos de importância e valor de investimento. Entre os projetos de maior complexidade desenvolvidos estão o Celta e o próprio Meriva já citado.

Celta - Derivativo da plataforma Corsa, com substanciais mudanças e re-*design*. A equipe de engenharia da GM Brasil teve participação majoritária durante todos os estágios de desenvolvimento do produto, inclusive o veículo foi planejado e desenhado especificamente para o mercado brasileiro com coordenação da General Motors do Brasil (GMB) em todo o processo de desenvolvimento (CONSONI; QUADROS, 2004). O projeto Celta (*Blue Macaw Project*) também incluiu a instalação de uma unidade industrial para a produção desta plataforma, utilizando-se do conceito de condomínio industrial; a planta



localizada em Gravataí no Rio Grande do Sul, atingiu um dos mais altos níveis de produtividade da GM no mundo (CONVERSANI, 2008).

Meriva – o projeto da GM, em 2002, foi uma das experiências mais avançadas em projeto de produto, ampliando as competências locais em todos os estágios do processo de desenvolvimento de produto (QUADROS; CONSONI, 2009). Foi um veículo projetado para atender o mercado brasileiro e europeu e a subsidiária foi reconhecida em nota oficial pela GM em novembro de 2011, como um dos cinco centros mundiais na criação e desenvolvimento de veículos, nos campos da engenharia, design e manufatura e, como citado, tornar-se-a responsável pelo desenvolvimento de veículos maiores, como a Trailblazer e Colorado, que ainda não fazem parte do portfólio de produtos brasileiros da GM e que, provavelmente, não o farão, sendo estes desenvolvimentos brasileiros para o mercado externo.

- **Volkswagen:** A partir do desenvolvimento – rápido, econômico e eficaz – e do sucesso de vendas do Fox (Projeto *Tupi*) nos países tradicionalmente atendidos pela subsidiária brasileira, mas também na própria Europa, este tornou-se o quinto carro mais produzido na corporação mundial, e a subsidiária brasileira ganha o “título” de Centro Mundial Competência em Desenvolvimento de Carros Populares da VW. Com níveis de complexidade comparados ao projeto Meriva, o Fox consolidou a competência da VW em desenvolver um derivativo completo. Porém, o centro de desenvolvimento ainda não possui um mandato global, mas foca-se em adaptar e criar derivativos para mercados emergentes. Os investimentos na infraestrutura de desenvolvimento de produtos da VW no Brasil, chegaram a US\$ 2.5 milhões, e inclui um centro de realidade virtual com projeção em 3D. Nos próximos 5 anos, 10 novos modelos da VW estão agendados para serem desenvolvidos na unidade de São Bernardo do Campo.

Fox - Projeto local da engenharia brasileira para mercados emergentes. É produzido no Brasil, mas também exportado para Europa, Ásia e América Latina. Realizado também devido aos insucessos de plataformas globais ao mercado nacional, além das competências acumuladas pela engenharia de produto brasileira e que estão associadas à criação de soluções baratas e simples nos produtos (MELLO; MARX, 2007a). Apresenta níveis de

independência da subsidiária em relação a matriz, comparado somente ao projeto Meriva (CONSONI, 2004).

- **Fiat:** A unidade de engenharia em desenvolvimento de produto da Fiat do Brasil tem um *status* similar ao da VW do Brasil. É um centro global de competências em algumas tecnologias, mas ainda não possui total autonomia formal para desenvolvimento de modelos completos. Recentemente, a Fiat Brasil anunciou que vai assumir o desenvolvimento de projetos completos fabricados no país, com o objetivo é de chegar a um carro 100% brasileiro. Isso significa que todas as fases de DP serão feitas no país, desde a definição do conceito de projeto de produto até o processo produtivo. Investimentos na infraestrutura de DP foram realizados nos últimos anos, incluindo uma das únicas câmaras para teste de interferência magnética do país e um laboratório de *crash-test* completo. Entre os projetos com participação da engenharia brasileira relatados na literatura estão o do Palio e do Novo Uno.

Palio - O projeto do Fiat Palio, chamado de projeto 178, foi coordenado pela matriz italiana, com participação da engenharia brasileira, incluindo um grupo de engenheiros brasileiros que residiram por 18 meses na matriz, fazendo com que a subsidiária brasileira assumisse novas responsabilidades nos projetos derivativos da plataforma Palio (modelos: Siena, Palio Weekend e Strada). Segundo Consoni e Quadros (2004), a segunda geração dessa plataforma teve 50% da carga de trabalho realizada pela equipe de desenvolvimento da Fiat no Brasil, onde inclusive era mais barato desenvolver o projeto (SALERNO, 2001). A equipe brasileira é reconhecida pela Fiat Corporation como um centro de excelência em desenvolvimento de módulos de suspensão.

Novo Uno - O novo Uno foi 100% desenvolvido no Centro de Desenvolvimento Giovanni Agnelli, localizado na fábrica de Betim, MG. Levou três anos para o carro sair da tela do computador e chegar ao consumidor. Entre os *designers* e engenheiros, segundo Santo e Daxbacher (2010), 600 profissionais da Fiat Automóveis despenderam cerca de um milhão de horas sobre o que foi chamado de projeto 327, que foi concebido com uma nova plataforma, pois cerca de 70% de seus componentes eram totalmente novos.

- **Ford:** Com o fim da *joint-venture* com a VW na década de 90, a Ford decidiu centralizar as atividades de DP no centro de

engenharia britânico, reduzindo o corpo de engenheiros de DP no Brasil. Contudo, a empresa reconheceu que essa decisão teve um impacto negativo em seu posicionamento competitivo no país, reconstituindo então sua área de engenharia de produto durante o desenvolvimento de um novo modelo sob a plataforma do Fiesta, o Ecosport, com um conceito inovador. O carro possuía um apelo *off-road* sob uma plataforma compacta. O sucesso desse modelo foi o principal responsável pela recuperação do *market share* da Ford.

Ecosport - Projetado, desenhado e coordenado pela engenharia brasileira, o Projeto *Amazon*, incluiu a instalação da unidade industrial na Bahia, utilizando-se do conceito de condomínio industrial. O carro conseguiu ser reconhecido sucesso pela matriz sendo líder de vendas em uma época que a Ford apresentava um declínio no mercado brasileiro reflexo dos projetos globais pouco aceitos pelo consumidor local.

- **Renault:** a empresa vem mostrando uma tendência em aumentar suas competências no país, como mencionado anteriormente. Recentemente, o desenvolvimento do Sandero indicou uma possível mudança na estratégia de desenvolvimento da empresa (IBUSUKI *et al.*, 2012; AMATUCCI; MARIOTTO, 2012). Portanto, deve-se ressaltar a importância deste projeto como sinalizador da evolução de competências locais dessa empresa.

Sandero - Primeiro carro mundial da Renault a ser produzido inicialmente fora das bases da empresa na Europa. O desenvolvimento do Sandero contou com a participação direta de engenheiros brasileiros do Centro de Engenharia América, baseado no Brasil, num projeto especialmente focado para atender às exigências e necessidades dos clientes brasileiros e dos demais países da América do Sul.

Estes são os principais projetos realizados na última década no país, reafirmando a capacidade da engenharia brasileira já identificada por outros autores (SALERNO, 2001; SAKO, 2006; MELLO; MARX, 2007a, CONVERSANI, 2008; QUADROS; CONSONI, 2009; IBUSUKI *et al.*, 2012; AMATUCCI; MARIOTTO, 2012). Segundo o que foi apresentado, reúnem-se objetos para análise suficiente para atingir o objetivo proposto pelo presente trabalho, tanto em modularidade de produção (plantas modulares) como em modularidade de projetos (desenvolvimentos com participação da engenharia local).

Diante desse panorama sobre a modularidade de produto e produção, há a confirmação da aplicação da modularidade no cenário nacional. O capítulo seguinte relata a evolução dessas competências na indústria automobilística brasileira através de sua caracterização e seu histórico.

### 3 CONTEXTO DO TRABALHO: O DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA BRASILEIRA

A trajetória do desenvolvimento de competências na indústria automotiva nacional inicia-se com a fabricação (montagem) de veículos automotores. O sucessivo aumento de fabricantes instalados no país com a abertura do mercado, o aperfeiçoamento de técnicas produtivas e novas estratégias, como a adoção da modularidade, e a recente e crescente participação em desenvolvimento de projetos de produto são elementos que destacam esta trajetória.

Muitos desses primeiros desenvolvimentos de veículos brasileiros, como *GT Malzoni*, *SP 2*, *Miúra* e *BR-800*, são caracterizados e conhecidos mais pela paixão incondicional que seus idealizadores tinham por carros e que muitos brasileiros possuem, do que o surgimento de um negócio devido a uma lacuna de mercado. A evolução do mercado brasileiro foi tamanha, que hoje ocupa posição de destaque mundial tanto na produção como também ao que se diz respeito da capacidade de engenharia, que serão detalhadas a seguir.

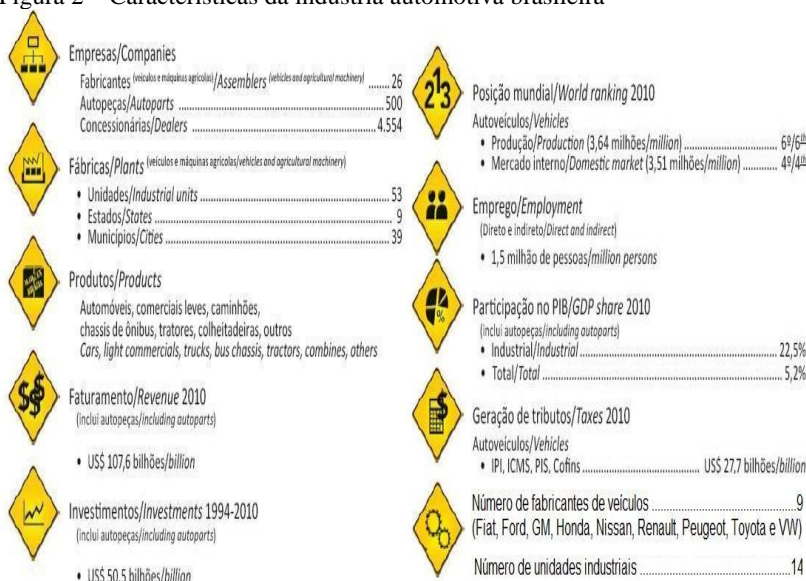
#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA BRASILEIRA ATUAL

Após a abertura do mercado brasileiro às importações em 1989, a perspectiva de aumento da concorrência no setor que contava com quatro grandes montadoras (Ford, GM, Fiat e VW), a década de 90 vivencia o investimento direto de empresas como Honda, Audi, Daimler, Mitsubishi, PSA-Peugeot, Citroën, Renault, e Toyota; mais recentemente, Nissan, Hyundai e algumas empresas chinesas. Esta entrada massiva e abrupta leva as montadoras tradicionais a reinvestirem em ampliação de instalações e abertura de novas plantas (CAUCHICK MIGUEL, 2006), atingindo níveis recordes de investimentos em expansão até então.

Contando hoje com 26 empresas fabricantes e montadoras totalizando 53 plantas instaladas no país, a indústria automotiva mostra a trajetória de avanço do setor. O Brasil ocupa a 6ª posição mundial de produção de veículos (ANFAVEA, 2011) com previsões de que pode se tornar o 5º maior produtor do mundo já nos próximos anos. Ainda segundo a ANFAVEA (2011), o país é o quarto no *ranking* mundial de vendas de veículos. O crescente aumento do faturamento e investimento no setor pode ser reflexo do momento econômico positivo do país nos últimos anos, proporcionando que a indústria automotiva, em geral,

tenha significativa participação no PIB brasileiro. Outros dados sobre o momento atual podem ser vistos na Figura 2.

Figura 2 – Características da indústria automotiva brasileira



Fonte: Adaptado de Anuário da indústria automobilística brasileira – ANFAVEA (2011)

A presente dissertação foca especificamente no segmento de veículos leves. Como mostrado na Figura 2, este segmento conta hoje com 9 fabricantes que totalizam 14 unidades industriais em funcionamento no país, sendo que a Fiat e a Toyota, possuem novas unidades, localizadas em Ipojuca-PE e Sorocaba-SP respectivamente. A Chery recentemente anunciou uma unidade em Jacareí-SP que virá a ser a 10ª fabricante de veículos com unidade instalada no país, no segmento em estudo (ANFAVEA, 2011). O Quadro 1 apresenta os fabricantes instalados no país de acordo com o foco da pesquisa e a cidade onde estão localizadas suas respectivas unidades fabris.

De acordo com o Anuário da ANFAVEA (2011), o país é o sexto maior produtor de veículos no mundo e quarto em vendas, oferecendo um ambiente adequado para examinar os antecedentes e os resultados da modularização estratégica tanto na concepção (modularidade de projeto) como na fabricação e montagem (modularidade de produção) de automóveis. Sendo o único país que

hospeda quase todos os fabricantes de automóveis globais no mundo, as empresas montadoras têm identificado o Brasil como um ambiente que oferece condições ideais para as aplicações de métodos alternativos e inovadores de produção.

Quadro 1 – Localização das plantas de automóveis no Brasil

FABRICANTE	CIDADE	TIPOS DE VEÍCULOS PRODUZIDOS
Fiat	Betim – MG	Automóveis, comerciais leves
Ford	Camaçari – BA	Automóveis, comerciais leves
	Horizonte – CE	Comerciais leves (Troller)
	São Bernardo do Campo – SP	Automóveis, comerciais leves, caminhões
GM	São Caetano – SP	Automóveis, comerciais leves
	São José dos Campos – SP	Automóveis, comerciais leves, componentes etc.
	Gravataí – RS	Automóveis
Honda	Sumaré – SP	Automóveis
Nissan	São José dos Pinhais – PR	Automóveis, comerciais leves
Renault	São José dos Pinhais – PR	Automóveis, comerciais leves
Peugeot Citroen	Porto Real – RJ	Automóveis, comerciais leves
Toyota	Indaiatuba – SP	Automóveis
VW	São Bernardo do Campo – SP	Automóveis, comerciais leves
	Taubaté – SP	Automóveis
	São José dos Pinhais – PR	Automóveis, comerciais leves

Fonte: Anuário da indústria automobilística brasileira da ANFAVEA (2011)

### 3.2 HISTÓRICO DO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA NO BRASIL

No Brasil a modularidade é aplicada na indústria automotiva desde a segunda metade da década de 90, quando houve o desmembramento da *joint venture* entre Ford e VW e surgiu a planta da VW caminhões em Resende – RJ, um dos casos mundialmente conhecidos de produção modular. Ainda nos anos 90, o Brasil recebeu novas plantas industriais, também nessa época havia um forte movimento na indústria automotiva de atingir certos níveis de eficiência operacional alcançado pelos japoneses. Um movimento baseado no

“*lean production*” havia sido iniciado, envolvendo suas técnicas, ferramentas etc. Assim, a modularidade entra em pauta, o que acabou tornando o Brasil, o país “escolhido” para os mais avançados estudos e aplicações do tema (SALERNO *et al.*, 2009).

As condições do mercado local (carros pequenos com 1000cc, motorização a álcool, a necessidade de redesenhar as suspensões etc.) fazem com que seja interessante possuir competência nas subsidiárias brasileiras para fazer projetos locais. Em alguns casos, o país foi integrado nos processos globais de desenvolvimento de produtos, especialmente para carros voltados para mercados emergentes, como o Palio da Fiat, Fox da VW e Celta da GM (DIAS; SALERNO, 2004) ou outros projetos com participação brasileira tais como o GM Meriva e Ford Ecosport (ZILBOVICIUS *et al.*, 2002). Esta seção relata então a trajetória histórica da participação em desenvolvimento de produtos.

A trajetória do desenvolvimento de competências na indústria automotiva nacional inicia-se com a fabricação (montagem) de veículos automotores, percorre pelo desenvolvimento das atividades produtivas até chegar na evolução da capacidade da engenharia local, com a recente e crescente participação em desenvolvimento de projetos de produto. A indústria automobilística instalou-se no Brasil em 1956, na cidade de Santa Bárbara d'Oeste (São Paulo) com o início da fabricação da Romi-Isetta. Ainda em 1956, a Vemag colocou no mercado uma camioneta derivada da família F91, produzida pela DKW, montada no Brasil. Em 1958, passou a disponibilizar sedãs e camionetas da família F94 montadas sob licença da DKW e com crescentes índices de nacionalização (QUATRO RODAS, 2002). Em 1959, no município de São Bernardo do Campo, foi instalada a fábrica da Volkswagen, cujo primeiro modelo produzido foi a Kombi, até hoje produzida lá e que precedeu ao famoso Volkswagen Sedan (mais conhecido no Brasil como Fusca).

A Chevrolet e a Ford, que eram apenas montadoras de peças importadas, deram os seus primeiros passos com a fabricação de caminhões para, mais tarde, iniciarem a produção de automóveis em 1968. A seguir veio a Fiat (Fábrica Italiana de Automóveis - Turim), que se instalou em 1976 na cidade de Betim-MG. Somadas, estas quatro empresas ganharam o apelido de “As Quatro Grandes”, também denominadas de “empresas veteranas”, e que dominaram o mercado brasileiro até o final da década de 1990. Guarnieri *et al.*, (2009) afirmam que da década de 50 até 80, as políticas econômicas inibiram a importação, estimulando o estabelecimento de indústrias locais de veículos CBU (*completely built up* – completamente montados) pelas



empresas fabricantes de veículos americanos e europeus. Dada a crescente importação de veículos, o governo estabeleceu políticas que limitavam progressivamente a importação de componentes, de carros montados e até de veículos CKD (*completely knocked down* – completamente desmontados). Na década de 70, a nacionalização dos processos atingiu 100% em países como o Brasil.

Outras montadoras e fabricantes vieram na sequência, as empresas entrantes, tais como a Renault, Peugeot, Citroën, que montaram fábricas no Brasil, enquanto outras marcas iam sendo incorporadas, como a Dodge pela Chrysler do Brasil. A Mercedes-Benz, que já fabricava caminhões, estabeleceu em São Bernardo uma fábrica, a Daimler Benz do Brasil, inicialmente fabricante de carrocerias de caminhão e ônibus, inaugurando a sua unidade montadora veicular em 1998, em Juiz de Fora, Minas Gerais.

Diversos foram os fabricantes de automóveis genuinamente brasileiros como Puma, Gurgel, Miura, entre outros. Muitos não sobreviveram a reabertura das importações no início dos anos 90 e à competição com modelos importados. Atualmente, o fabricante brasileiro de maior destaque é a Troller, fundada em 1997 e adquirida pela Ford em 2007, com sucesso relativo com o seu modelo T4. Atualmente instalada em Sobral - CE, a TAC Motors engatinha com alguns projetos em co-desenvolvimento com fornecedores e o veículo tipo jipe lançado em 2010, chamado Stark.

A história de desenvolvimento de modelos próprios para o mercado brasileiro, com diversos graus de participação da engenharia local, remonta à década de 70, com o *SP 2* e a *Brasília*, ambos da VW, e segue com o desenho de derivativos até os dias de hoje (AMATUCCI; BERNARDES, 2009a). Após a abertura do mercado brasileiro às importações, mesmo que parcial pelo então presidente Fernando Collor de Melo, a perspectiva de aumento da concorrência no setor que contava com três grandes montadoras (Ford, GM e VW) até meados da década de 70, quando a Fiat se instalou no país, a década de 90 atinge níveis de investimento recorde no segmento até então, com o investimento direto de empresas como Honda, Audi, Daimler, Mitsubishi, PSA-Peugeot, Citroën, Renault, e Toyota; e nos últimos anos, Nissan, Hyundai e algumas empresas chinesas também iniciaram tal movimento de expansão no país, inaugurando novas instalações no Brasil. Corroborando com esta afirmativa Salerno *et al.* (2009) afirmam que nos anos 90, o Brasil recebeu muitas novas unidades industriais, complementando ainda, que em alguns casos, foi integrado nos processos globais de desenvolvimento de produtos, especialmente para

carros desenvolvidos para mercados emergentes, como o Palio da Fiat, Fox da VW e Celta da GM (DIAS, 2001), e ainda em outros projetos brasileiros como o GM Meriva e Ford Ecosport (Amazon Project). Além desses projetos que serão mais detalhados a frente, o histórico da crescente capacidade de participação em desenvolvimentos de produtos realizados no país pode ser vista a partir do Quadro 2.

Quadro 2 – Histórico brasileiro de desenvolvimento de veículos

Ano	Modelo / Fabricante	Características	Referências
1956	Romi Isetta DKW / Vernag	Simples cópia de modelos estrangeiros, fabricados no Brasil	[4], [10]
1964	GT Malzoni / Puma	Com chassi e mecânica DKW, projetado no país inicialmente para corridas	[10], [11]
1972	SP2 / VW	Projeto brasileiro independente da matriz alemã, criado e produzido em São Paulo para concorrer com o <i>Puma</i>	[1], [6], [10], [13], [14]
1974	Brasília / VW	Projetado e construído no Brasil sob chassi da <i>Variant</i> com motor do <i>Fusca</i>	[1], [4], [6], [7], [13], [14], [15]
1976	Fiat 147	Derivado do modelo Fiat 127 italiano, o modelo originou uma <i>pick-up</i> em 1978 e o <i>Oggi</i> em 1983	[6], [14]
1977	Miúra	Utilizava mecânica VW, projetado e produzido no Rio Grande do Sul	[11]
1980	Gol / VW	Desenvolvido sobre a plataforma do <i>Polo</i> europeu de 1974	[3],[4],[6], [7],[13], [14], [15]
1980	Chevette / GM	GMB eleva sua competência para produção de derivativos parciais ao desenvolver além da versão 4 portas, as versões <i>hatch</i> , <i>station wagon</i> ( <i>Marajó</i> ) e <i>pick-up</i> <i>Chevy 500</i>	[2], [6], [13], [15]
1984	Uno / Fiat	Tropicalizado no país, deu origem aos derivativos sedan prêmio em 1985 e a <i>station wagon</i> <i>Elba</i> em 1986	[6], [13], [14]
1988	BR 800 / Gurgel	Criado a partir do "zero", fabricado exclusivamente com tecnologia nacional, o primeiro carro genuinamente brasileiro	[8]

Quadro 2 – Histórico brasileiro de desenvolvimento de veículos – continuação

Ano	Modelo / Fabricante	Características	Referências
90's	Corsa / Astra / Palio / Polo / Fiesta	Mais empresas adquirem competência no desenvolvimento de derivativos parciais, Fiat através do Palio ( <i>Siena</i> ), VW com o <i>Polo</i> (sedan) e a Ford com o Fiesta (sedan) e GM através da família <i>Corsa</i> (sedan e <i>pick-up</i> ) e <i>Astra</i>	[2], [4], [5], [6], [7], [12], [13], [14], [15]
1997	RF Sport / Troller	Montadora genuinamente brasileira, desenvolveu o veículo integralmente no país, possui fornecedores parceiros no desenvolvimento de produto (adquirida pela Ford)	[9]

Fontes: 1- Amatucci e Bernardes (2009a), 2- Amatucci e Bernardes (2007), 3- Mello (2006), 4- Consoni; Quadros (2004), 5- Cauchick Miguel (2006), 6- Amatucci (2010), 7- Dias e Salerno (2009), 8- Quatro Rodas (1987), 9- <http://www.troller.com.br/sobre/historia-da-troller/> (2011), 10- Enciclopédia do automóvel (1974), 11- Quatro Rodas Especial (2002), 12- Quadros e Consoni (2009), 13- Carvalho (2002), 14- Dias (2003), 15- Consoni (2004)

Com a evolução ilustrada no Quadro 2, há assim uma consolidação de algumas competências em desenvolvimento de produtos nas subsidiárias brasileiras, não só para o Brasil como também para mercados similares. Segundo Salerno (2001), o projeto do VW Santana produzido na China era feito no Brasil, embora isso tenha acontecido pela razão de que na época o Brasil ser o único país que ainda mantinha o modelo em seu portfólio de produtos. O mesmo acontece com projetos para o mercado do México e da Argentina. Mais recentemente, os times de engenharia mais avançados efetuaram desenvolvimentos mais completos como o Ecosport (Ford), o Meriva (GM) e o Fox (VW) (CAUCHICK MIGUEL, 2006), como já destacado, e a crescente participação da engenharia local, relata projetos derivativos do Palio (50% das horas de engenharia realizadas no Brasil) e do Celta (SALERNO, 2001).

Num setor dominado por empresas estrangeiras, o país tem preservada sua competência em algumas atividades de projeto, remanescentes da época de mercado fechado. Em se tratando da relação de fornecedores e montadoras, as empresas fornecedoras brasileiras possuem um elevado nível de projeto de processo local, mas um nível baixo de atividades de projeto de produto. O trabalho de Zilbovicius *et*

*al.* (2002) relata que as atividades de concepção de produto e projeto de engenharia são centralizados no exterior e a participação das subsidiárias brasileiras cresce em termos de adaptações de produto e processo.

De acordo com Salerno *et al.* (2009), os projetos desenvolvidos localmente, tendem a utilizar peças que não são projetadas ou produzidas no exterior. Ainda segundo os autores citados, o Brasil é um dos poucos países com capacidade de desenvolvimento, tendendo a receber os projetos que por hora devam ser feitos fora do USA e Europa, principalmente os de mercados emergentes e também de nichos específicos, como no caso do *Polo Sedan*, desenvolvido paralelamente ao modelo *hatch* e à plataforma *PQ-24* (modelo Fox). O cenário histórico da indústria automobilística brasileira favoreceu para que algumas atividades de projeto iniciassem na época do mercado fechado, e essa competência foi preservada, assim como propiciou um amplo relacionamento comercial com diversas empresas fornecedoras locais da época, que podem hoje colaborar e fornecer outras soluções que não aquelas apresentadas por fornecedores cadastrados na matriz (ZILBOVICIUS *et al.*, 2002). Ainda neste estudo, os autores propõem que as condições do mercado local fazem com que seja interessante o país possuir competência para fazer projetos locais, respondendo assim o porque do Brasil possuir algumas atividades de projeto num setor dominado por empresas estrangeiras.

### 3.3 ESTRATÉGIAS EM DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

Amatucci e Bernardes (2009b) relatam a capacidade da engenharia brasileira e seu reconhecimento na indústria automotiva mundial em desenvolvimento de produtos. Nos campos estudados, os autores citados verificaram a aplicação e evolução dos setores de P&D em algumas empresas brasileiras do setor. Como resultado trazem que os desenvolvimentos (participação da engenharia brasileira) já são suficientemente estabelecidos e reconhecidos, mas que ainda o que se mostra incipiente no país é a pesquisa no que se diz respeito as inovações e possíveis avanços no futuro da indústria de veículos. No que tange o nível de independência, ou o nível de participação da engenharia local em determinados projetos Sugiyama e Fujimoto (2000) propõem quatro estratégias básicas em projeto de produto:

A. Projeto de produto global usando nova plataforma (*global standardization*)

- B. Projeto de produto local usando nova plataforma
  - C. Projeto de produto global usando plataforma já existente
  - D. Projeto de produto local usando plataforma já existente
- 
- A- Projeto global utilizando uma nova plataforma: o típico exemplo de produto mundial. Essa estratégia baseia-se nas economias de escala no desenvolvimento e nos custos de produção, uma vez que podem ser utilizadas peças produzidas em um único local (dependendo das restrições locais). Peças produzidas localmente necessitam de ferramental e meios de produção em duplicata. Esse tipo de projeto pode incorporar tecnologias “*state of the art*”, mas muitas vezes significa superestimar a capacidade do mercado local de pagar por elas.
  - B- Projeto local utilizando uma nova plataforma: nessa estratégia, o desenvolvimento de um novo veículo utiliza uma plataforma desenvolvida especificamente para o projeto, ou utiliza uma plataforma global já existente, há a economia nos custos de desenvolvimento, assim como no caso A, que pode ser ainda maior se o projeto global e o derivativo local forem simultâneos. Já para uma nova plataforma, há o custo de desenvolvê-la mas este pode ser compensado pela economia em simplificar as soluções de engenharia para adaptá-la a um mercado que enfatiza ao custo.
  - C- Projeto global utilizando uma plataforma antiga: o ciclo de vida de um produto pode ser diferente em mercados desenvolvidos e emergentes, uma vez que nestes últimos o tempo para retorno do capital investido tende a ser maior, em virtude dos menores volumes. Nesta estratégia, há a continuidade de produção de um determinado modelo considerado obsoleto para países desenvolvidos, em mercados de países em desenvolvimento. Há o risco de redução da venda deste modelo, especialmente pra segmentos mais caros de mercado, uma vez que os consumidores, cada vez mais informados, sabem que o modelo não é o mais atualizado.
  - D- Projeto local utilizando uma plataforma antiga: é uma estratégia que visa a otimização entre adaptação e economia de escala, com significativa redução dos custos de desenvolvimento e produção. Com a utilização de uma plataforma já conhecida, reduzem-se os problemas tecnológicos e o investimento em meio de produção pode ser diminuído, ou, quando permitido pela legislação local, até eliminado, pela importação de ferramentais e equipamentos previamente utilizados. Por outro lado, aumenta-se a atratividade

para o mercado, por tratar-se de um novo veículo e completamente adaptado às necessidades dos consumidores, em termos de design e custo. Para esta estratégia ser eficaz, há a necessidade de possuir capacidade de engenharia local, uma vez que desenvolver um novo veículo sobre uma plataforma já existente requer considerável esforço.

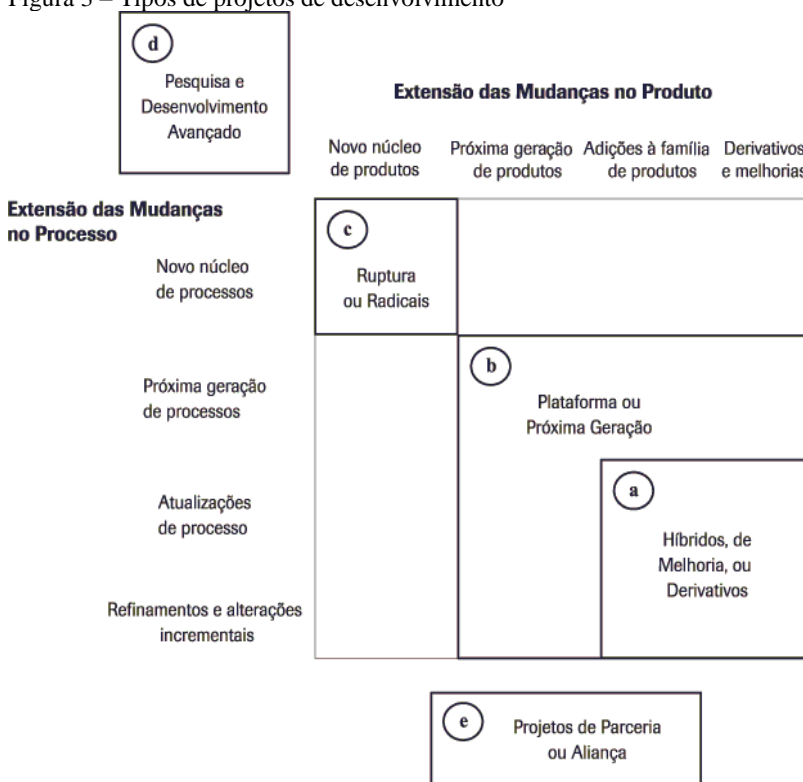
Haja vista que os desenvolvimentos de produtos para mercados globais, ainda são realizados pela tríade (Estados Unidos, Europa e Japão), o presente estudo foca na identificação de projetos realizados no Brasil, por ora do tipo B e D, ou seja, projetos que tenham participação da engenharia brasileira para o mercado local emergente. Dessa maneira, também pode ser verificada a presença de características da modularidade por meio de questionário e entrevistas no país.

Diante da estratégia relatada por Scavarda e Barbosa (2005), da busca pela diminuição do número de plataformas e aumento do número de modelos (e não apenas derivativos) em cada plataforma adotada pelas empresas do setor automotivo, surge a possibilidade do aumento da participação dos centros de desenvolvimento locais que evidentemente tenham competência em identificar as exigências do mercado local e desenvolver projetos. Esta prática já identificada no passado por Womack *et al.* (1990) como mais eficiente trazendo benefícios de escala, entre outros. Dessa forma, os motivos fundamentais descritos na literatura para que as atividades de inovação sejam descentralizadas em direção às subsidiárias: (i) as atividades de P&D próximas ao mercado das subsidiárias possibilitariam a ampliação da participação nestes mercados mediante um melhor atendimento às preferências locais através da redução de *leadtime* (SALERNO, 2001; DIAS; SALERNO, 2009) e (ii) as empresas inaugurariam centros de desenvolvimento em suas subsidiárias para ter acesso a um conhecimento não disponível no centro de desenvolvimento principal (DIAS; SALERNO, 2009). Paralelamente a isso, a modularidade surge como um meio de apoio a essa estratégia (DIAS, 2003), possibilitando a transferência de tecnologias e conhecimento até mesmo em forma de módulos e subsistemas independentes entre os centros de desenvolvimento de uma mesma empresa.

### 3.4 CLASSIFICAÇÃO DOS DESENVOLVIMENTOS REALIZADOS NO BRASIL

Os projetos de desenvolvimento de produtos com relatos de participação local, são classificados de acordo com as propostas de Clark e Wheelwright (1993), segundo os tipos de projetos de desenvolvimento (Figura 3). Posteriormente, os centros de desenvolvimentos também são classificados, segundo Consoni (2004), de acordo com o grau de competência adquirido em determinados projetos.

Figura 3 – Tipos de projetos de desenvolvimento



Fonte: Clark e Wheelwright (1993)

Na proposta de tipologia ilustrada na Figura 3 pode-se definir que:

Os projetos derivativos, híbridos ou de melhorias são também denominados de projetos de sustentação, e que podem variar desde versões de custo reduzido de um produto. Tais projetos incluem mudanças incrementais no produto com pouca ou nenhuma alteração de processo, mudanças incrementais de processo com pouca ou nenhuma alteração do produto, ou produtos que envolvem (pouca) mudança de projeto e de processo.

Os projetos plataforma, representando um novo “sistema” de solução para os clientes, envolvem mudanças significativas tanto para o processo de fabricação quanto para o produto, ou para ambos. Os projetos plataforma fornecem uma base para uma família de produtos ou processos, cuja evolução colocará esses produtos e processos em outro patamar por muitos anos, e requerem significativamente mais recursos comparados aos projetos derivativos ou incrementais. Quando esses projetos são cuidadosamente planejados e executados, eles fornecem uma base significativa em volume e uma melhoria fundamental nos custos, qualidade, e desempenho comparativamente com a geração anterior. Por essa razão, eles são freqüentemente referidos como “próxima geração” (CAUCHICK MIGUEL, 2008, p. 4).

Além dos dois tipos de projetos citados, e de maior relevância para o presente trabalho, a Figura 3 mostra a existência de outros tipos de projetos de desenvolvimento, mais complexos (maior extensão de mudanças) do ponto de vista de alterações em projeto e processo, e que consomem mais recursos. Os projetos de parceria representam um modo diferenciado de condução de projeto. Como exemplo desse tipo de relacionamento de projeto de parceria pode ser citada a Autolatina, parceria da Ford com a VW realizada no Brasil, e desfeita na década de 90 como já citada anteriormente neste trabalho, e que pode envolver extensas alterações de produto ou de processo de produção. A definição dessa tipologia apresentada pode ser complementada afirmando-se que:

Na verdade, qualquer projeto pode ser conduzido utilizando-se de parceria, ou seja, a organização pode formar uma aliança ou criar uma parceria com outra instituição para conduzir pesquisa ou desenvolvimento avançado, para desenvolver um novo conceito de produto, ou simplesmente ampliar uma linha de produtos. Ao invés de se utilizar somente dos recursos próprios da organização, a empresa parceira freqüentemente fornece recursos únicos e/ou significativos (às vezes todos os seus recursos disponíveis), podendo, inclusive, gerenciar a execução do projeto (CAUCHICK MIGUEL, 2008, p. 4-5).



É importante classificar o tipo de projeto e analisar, o quanto o desenvolvimento é novo para a empresa. Por ora no Brasil, em sua extensa maioria, os projetos realizados na indústria automobilística estão inseridos dentro do quadrante ‘a’ no esquema representativo da Figura 3, seguindo essa classificação são chamados de projetos derivativos. Esses projetos também podem ser classificados quanto ao grau de complexidade, ou de capacidade da engenharia local segundo a proposta de classificação de competências em DP, realizada dentro da indústria automobilística nacional, segundo Consoni (2004). Tendo como base o modelo de Clark e Wheelwright (1993), a proposta de Consoni (2004) afirma que os projetos realizados no país até então eram apenas derivativos, mas que apresentavam diferentes graus de complexidade. O estudo de Consoni (2004) propõe quatro estágios cumulativos de maturidade para determinar a capacidade local de realização de projetos para que enfim possam ser sediados projetos do tipo plataforma, esta proposta de classificação pode ser vista na Figura 4.

Figura 4 – Classificação de competências em DP



Fonte: Consoni (2004)

Segundo o estudo citado, o processo de acumulação de capacidades, significa que a mudança entre um estágio e outro dessa

tipologia ocorre somente quando a empresa consegue acumular determinado conhecimento e realizar determinada tarefa, no país, que antes não conseguia. Da nacionalização dos componentes (estágio um), passando pela adaptação local (estágio dois) – que alcança um leque amplo de atividades – até o desenho de veículos derivativos, simples em primeira instância, focado nas demandas do mercado local (estágio três); e, posteriormente, incorporando maior complexidade, de forma a atender as demandas de países em desenvolvimento (estágio quatro). Esses quatro estágios ilustram todos os tipos de competência em DP identificados entre as montadoras de automóveis no Brasil, esta figura também sinaliza para um quinto estágio, no topo do cone, porém ainda não alcançado pela engenharia local.

Como já mostrado no histórico de desenvolvimentos no país, os dois primeiros estágios quase sempre foram cumpridos, afinal montagem e adaptações locais sempre foram necessários, tanto pelas condições de rodagem como adequação a regulamentação nacional. Os primeiros projetos com um grau de complexidade maior são relatados por volta da década de 70, através dos projetos do *SP2*, *Brasília* e do *Chevette*. Mais recentemente, a plataforma Corsa também envolveu um maior grau de complexidade juntamente com outros projetos de outras montadoras.

O presente estudo busca um nível alto de atividades de projetos realizadas no país a fim de verificar a existência dos elementos para classificação do nível de modularidade. É bem verdade que já existem tentativas de medir o grau de modularidade de um produto, como o método chamado MFD - *Modular Function Deployment* (Erixon, 1998 *apud* Persson, 2007). Porém, de maneira geral nenhum método é ainda reconhecido e utilizado universalmente. No capítulo seguinte são apresentados os métodos para condução do trabalho, detalhando como foram coletados os dados, analisados, e por fim, como os projetos selecionados foram classificados.

## 4 MÉTODOS E TÉCNICAS DE PESQUISA

Este trabalho de pesquisa pode ser dividido em duas macro etapas. A primeira é de caráter teórico-conceitual; visa a elaboração de um quadro teórico com as características de modularidade em projeto e em produção através de um levantamento bibliográfico e também a elaboração de um quadro representativo da arquitetura de produto com a quantidade de módulos identificados nos projetos de algumas montadoras automotivas no país. A segunda etapa visa identificar o grau de adoção dos dois tipos de modularidade estudados (de projeto e de produção). É composta por atividades de caráter teórico como a verificação da existência dos elementos conceituais obtidos para o posicionamento das empresas segundo a adoção da modularidade, e também de caráter empírico com a elaboração de um questionário para coleta de dados de campo (limitados). Os próximos tópicos detalham as atividades que constituem as etapas e os métodos adotados em cada uma delas para que o objetivo do trabalho seja atingido, de forma que também possibilite uma futura continuidade ou replicação do trabalho.

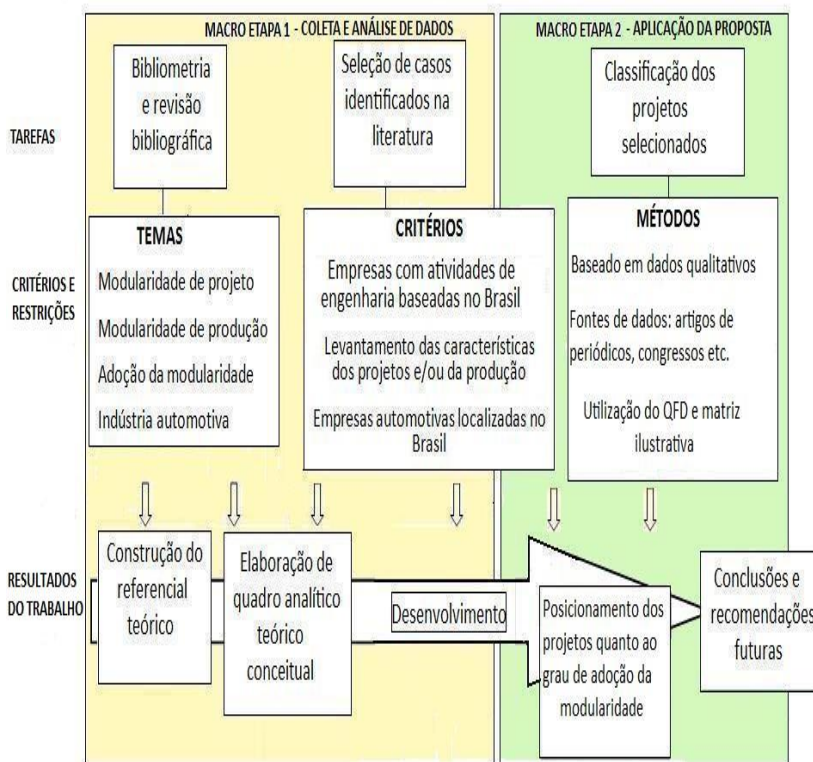
### 4.1 ETAPAS DA PESQUISA

Na primeira etapa, por meio de uma análise bibliométrica do tema de pesquisa (Figura 5), foram criados o quadro conceitual do trabalho com a identificação dos principais elementos da modularidade a serem investigados. Um dos objetivos dessa etapa foi definir as características associadas a produção modular e a projetos modulares. Para isso, foi realizada a revisão da literatura e extração desses elementos. O estudo identificou quais montadoras se utilizam das tipologias de modularidade estudadas, resultando em um conjunto de empresas que apresentam maturidade no uso dos tipos de modularidade investigados e identificação de projetos de veículos com a participação da engenharia nacional.

A coleta de dados se baseia em artigos publicados e outras fontes sobre o tema (sites, matérias, etc.). Esta etapa teórica visa criar condições e subsídios para que na etapa seguinte da pesquisa (empírica), sejam levantados alguns dados de campo, através de entrevistas não estruturadas. A etapa empírica visa verificar e complementar os dados teóricos, a fim de identificar a presença ou não dos elementos constantes no quadro teórico, gerando a classificação segundo o grau de adoção da modularidade. Os projetos com uso da modularidade são então associados ao quadro teórico sobre as características da

modularidade, possibilitando analisa-los e compara-los de acordo com o uso da modularidade. A classificação é feita com a elaboração de uma matriz que possibilita o posicionamento dos projetos de veículos segundo o grau de adoção da modularidade. A Figura 5 mostra a estrutura geral metodológica do trabalho.

Figura 5 – Etapas do trabalho



Fonte: Desenvolvido pelo autor

Na primeira macro etapa do trabalho foram realizadas duas tarefas principais: a bibliometria e a revisão bibliográfica, restritas ao tema de pesquisa e a seleção dos projetos de veículos respeitando os critérios que delimitam o escopo do trabalho. A segunda macro etapa realizou a classificação dos projetos selecionados segundo os métodos propostos para avaliação do grau de adoção da modularidade. A seguir, cada uma das etapas mostradas na Figura 5 é descrita em mais detalhes.

#### 4.1.1 Elaboração do Referencial Teórico

Essa etapa pode ser classificada como teórico-conceitual, onde enquadram-se as revisões da literatura. Seu propósito é levantar os principais trabalhos já realizados e disponibilizados sobre os temas (modularidade e indústria automotiva), sendo estes tipos de trabalhos de grande importância (LAKATOS; MARCONI, 2006).

Para poder realizar o posicionamento dos projetos de veículos quanto ao grau de adoção da modularidade, inicialmente foi feito um estudo bibliométrico buscando identificar as tendências e lacunas de pesquisa em modularidade, e também as características principais das tipologias estudadas, propiciando gerar um nível de conhecimento que possibilite conduzir este trabalho de pesquisa. A bibliometria realizada auxiliou na redação do referencial teórico do trabalho, apresentado nos capítulos 2 e 3. A construção do referencial teórico foi realizada seguindo as tarefas mostradas na Figura 5 e respeitando-se os limites do tema estudado. A primeira tarefa tem quatro restrições que filtram (no sentido de selecionar) o conjunto de artigos no tema da dissertação. Nessa tarefa, os temas filtros correspondem ao escopo da modularidade de projeto, de produção, a adoção da modularidade e a indústria automotiva.

A análise bibliométrica para a elaboração do referencial teórico baseou-se em um processo estruturado, conforme Lacerda *et al.* (2011), para a obtenção do portfólio bibliográfico. A análise bibliométrica é uma técnica para o mapeamento dos principais autores, periódicos e palavras-chave sobre determinado tema. Maldonado *et al.* (2010) afirmam que essas técnicas se apoiam em uma base teórica metodológica reconhecida cientificamente, que possibilita o uso de métodos estatísticos e matemáticos para mapear informações, a partir de registros bibliográficos de documentos armazenados em bases de dados. O registro foi feito com o auxílio do *software* EndNote, entre os meses de agosto e novembro de 2011.

Em função de o trabalho estar alicerçado em dois temas, a definição das palavras-chaves (*keywords*) utilizadas na tarefa de bibliometria para a seleção dos artigos brutos considerou aquelas relacionadas aos temas “modularidade” e “indústria automotiva”, em inglês e em português. Como a temática central deste trabalho é a “modularidade”, este foi o primeiro termo utilizado. Tendo em vista que o presente trabalho se propõe a avaliar a adoção da modularidade de projeto e de produção no cenário da indústria automotiva, essa premissa orienta a necessidade de analisar o assunto sob a perspectiva de sua

mensuração. O termo “indústria automotiva” foi então o segundo tema a ser considerado no trabalho. O Quadro 3 apresenta as palavras-chave associadas a estes temas.

Quadro 3 – Palavras-chave empregadas.

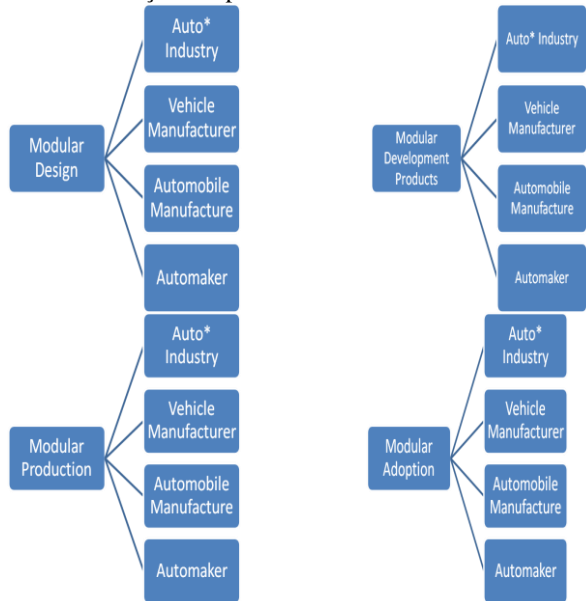
MODULARIDADE	INDÚSTRIA AUTOMOTIVA
<i>Modular Design</i>	<i>Auto* Industry</i>
<i>Modular Development Products</i>	<i>Vehicle Manufacturer</i>
<i>Modular Production</i>	<i>Automobile Manufacture</i>
<i>Modular Adoption</i>	<i>Automaker</i>

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Observação: a utilização do \* (asterisco) nas bases de dados permitiu que a busca localizasse todos termos existentes para a palavra onde o asterisco foi utilizado. No eixo da indústria automotiva podemos ver o termo *Auto\* Industry*; assim na palavra *Auto\** a base de dados busca por *automotive*, *automobile*, *automaker* etc.

Para a consecução da busca de artigos alinhados com o tema supracitado, as palavras-chave escolhidas para os dois temas foram combinadas conforme ilustra a Figura 6.

Figura 6 – Combinação das palavras-chave.



Fonte: desenvolvido pelo autor.

As bases de dados utilizadas foram aquelas relacionadas as áreas de engenharias, de maior reconhecimento e representatividade: *Scopus*; *ScienceDirect (Elsevier)*; *Emerald Fulltext (Emerald)*; e *ISI Web of Knowledge*. A quantidade total de artigos encontrados nestas quatro bases de dados, consoante as combinações de palavras-chave e a delimitação temporal de 15 anos (1996 a 2011) e considerando os arquivos disponíveis em periódicos e conferências foi de 705 artigos. Cabe lembrar que cada base possui um sistema de busca particular, a configuração utilizada pelo autor para busca foi de “tópicos” e “título do artigo, resumo e *keywords*” quando aplicáveis. O conjunto de artigos resultante dessas quatro bases passou a compor então o banco de dados de artigos brutos.

A partir desse banco de dados, foi feita a exclusão dos artigos repetidos e também realizada a classificação e análise dos periódicos quanto a aderência ao tema de pesquisa. A análise dos periódicos selecionados extrai os argumentos e dados que darão subsídio a pesquisa. O contato com outros pesquisadores, colegas e orientador também permitiu a inclusão de outros trabalhos que o autor julgou importante para o tema pesquisado. Em relação aos procedimentos técnicos adotados para a construção do referencial teórico esta pesquisa enquadra-se dentro da classificação de Gil (1999) como uma “pesquisa bibliográfica”, por ser elaborada a partir de material publicado anteriormente, principalmente de artigos de periódicos e materiais disponibilizados na internet. Dessa maneira, incluiu-se no referencial teórico informações específicas de casos selecionados na literatura, possibilitando a elaboração de um quadro analítico teórico conceitual, a ser apresentado no capítulo seguinte. O quadro pretende condensar os principais elementos da modularidade relatados nos artigos selecionados e definir critérios para análise do grau de adoção de modularidade em cada elemento identificado. Lakatos e Marconi (2006) afirmam que essa pesquisa é um apanhado geral sobre os principais trabalhos já realizados e disponibilizados de grande importância.

O trabalho se apoia nos quadros teóricos e definições apresentadas no capítulo 5, construídos com as principais características de cada tipo de modularidade foco do trabalho (de projeto e de produção), extraídos da literatura através da análise de artigos publicados, conforme os passos anteriores, sendo essa uma “pesquisa descritiva”, pois relata os fenômenos da realidade estudada. Segundo Gil (1999), a pesquisa descritiva objetiva descrever as características de determinada unidade de análise e o estabelecimento de relações entre as variáveis, procurando mostrar a frequência com que o fenômeno ocorre,

ou a relação e conexão com outros, sua natureza e características, no caso deste trabalho a unidade a ser analisada serão as empresas automobilísticas brasileiras que adotam a modularidade como parte de sua estratégia competitiva.

#### **4.1.2 Seleção e análise de projetos de veículos**

A tarefa seguinte à análise bibliográfica ilustrada na Figura 5 mostra que, por meio da literatura, foram coletados e organizados os dados referentes aos casos que seguiriam os critérios de seleção de projetos de veículos, considerando como unidade de análise apenas veículos desenvolvidos por empresas automotivas instaladas no país a partir do ano 2000. Com base nestes requisitos e de acordo com a disponibilidade de dados extraídos de artigos de periódicos, congressos, teses e dissertações obtidos por buscas na internet, no portal de periódicos Scielo, os projetos enquadrados foram: Volkswagen Fox, Ford Ecosport, Fiat Palio, Renault Sandero e da General Motors os automóveis Celta e Meriva. A seleção destes projetos é melhor ilustrada no capítulo 6. As características de modularidade desses projetos são associadas ao quadro teórico elaborado na etapa anterior; o quadro possibilita identificar quais dos elementos de modularidade estão presentes nos projetos de veículos do país, e os critérios definidos em cada elemento do quadro permitem classificar o grau de adoção da modularidade em cada elemento.

Comparando o quadro teórico sobre a modularidade, levantado na etapa de análise da literatura, com as características dos casos selecionados no país, cada veículo é descrito, identificando como os conceitos teóricos são aplicados em cada projeto de veículo, também comparando uns aos outros. Para complementação dos dados teóricos, no caso do GM Meriva foi realizada uma entrevista não estruturada informal com um analista de engenharia do setor de Engenharia da Qualidade da empresa por meio de um questionário, mostrado no Apêndice A.

#### **4.1.3 Classificação da adoção da modularidade**

Sendo o objetivo do trabalho a análise do grau de adoção da modularidade existente em cada projeto de veículo identificado, estes foram classificados. A classificação da adoção da modularidade ocorre por meio do posicionamento dos casos analisados na etapa anterior em uma matriz, cuja construção é apresentada no capítulo 6.



Os dados coletados são, em sua maioria, de natureza qualitativa, descrevendo o fenômeno estudado através de características físicas e particulares, dificultando a sua quantificação. Para tanto, é aplicada uma quantificação visando transformar os dados qualitativos de forma que possam ser representados de forma posicional na matriz final de classificação dos projetos. O método aplicado para tal é baseado no QFD (desdobramento da função qualidade), que traduz as classificações qualitativas de “baixo”, “moderado” e “alto” para uma escala de pontuação “1”, “2” e “4”. Um detalhamento sobre a forma como o método foi aplicado é mostrado no Apêndice B.

Para o planejamento e condução do levantamento de campo, um roteiro semi-estruturado é disponibilizado no Apêndice A. Este roteiro foi direcionado para obter as informações que permitem a classificação de um projeto segundo os critérios propostos. Este roteiro também pode contribuir em trabalhos futuros, com a complementação de informações e características dos projetos realizados pelas empresas brasileiras, onde se espera uma atualização do posicionamento dos projetos de outros veículos na matriz referente a adoção da modularidade (de produto e de produção).

Como última tarefa é realizada uma análise crítica dos resultados colocando em pauta uma discussão sobre a relação entre as tipologias de modularidade estudadas. O trabalho é finalizado, mostrando as limitações do estudo, e apresentando novas lacunas que permanecem por ser investigadas e as recomendações para pesquisas futuras.



## 5 RESULTADOS - PARTE 1: DEFINIÇÃO DOS ELEMENTOS CONCEITUAIS E CRITÉRIOS PARA ANÁLISE DO GRAU DE ADOÇÃO DA MODULARIDADE

Este capítulo visa propor e definir os principais elementos conceituais em modularidade de projeto e de produção com base na literatura. Primeiramente, a literatura revela a necessidade de distinção entre as duas tipologias a serem analisadas, denominadas de sistema modular de produto e sistema modular de produção. O nível de modularidade nestes sistemas é definido pelas relações dos elementos que o constituem. Os elementos conceituais são os itens (ou quesitos) que são analisados em cada projeto de veículo. A partir da definição desses elementos são definidos também os critérios que classificam os projetos de veículos, mostrando como os elementos são considerados mais modulares. Para propor estes elementos e critérios de classificação, é realizado nessa seção um aprofundamento da revisão de literatura apresentada no capítulo 2 para justificar a proposta de elementos conceituais de análise.

Segundo alguns autores (e.g. SAKO, 2003; SALERNO *et al.*, 2008), um automóvel pode ser encarado como um produto de arquitetura integral, considerando que algumas funções do automóvel estão dispersas em diferentes “partes” do veículo. Segundo Salerno *et al.* (2008), os carros são considerados por muitos como produtos integrados e que não são propensos a projetos modulares pois algumas de suas principais funções do produto e restrições que a produção deve seguir são holísticas, como o nível de ruído e a estabilidade. Estas não estão ligadas a uma única peça, daí a dificuldade de se estabelecer critérios para avaliar o grau de modularidade de um produto como o carro. Por outro lado, Mello e Marx (2007b) afirmam que o automóvel pode ser entendido como um produto de arquitetura modular, se for considerado como um conjunto de módulos, componentes e subsistemas com funções específicas definidas (painel de instrumentos, motor, câmbio, etc.). Já Wang (2008) afirma que o automóvel pode possuir um sistema modular ou também integral, dado que alguns tipos de veículos se mostram mais orientados a um sistema modular (vans, mini pick-ups, etc.) e outros a um sistema integral (carros de corrida). O autor citado complementa ainda que a complexidade dessa questão é grande, pois ainda não há uma distinção clara de um sistema modular e de um sistema integral fechado.

Apesar de esses diferentes posicionamentos entre alguns autores, a abordagem modular simplifica a complexidade de montagem de

carros, facilitando o compartilhamento de componentes entre diferentes modelos, obtendo ganhos de escala e de escopo como destacam Morris e Donnelly (2006). Os autores citados também afirmam ainda que não há um modo simples de quantificar o grau de modularidade inerente em um produto em particular. Segundo Ulrich e Eppinger (1995), um produto raramente pode ser classificado como estritamente modular ou integral, pois podem ser classificados relativamente a outros produtos de acordo com o seu grau de modularidade. Ulrich (1995) também afirma que a maioria dos produtos ou sistemas são um híbrido de arquitetura modular e integral.

Seguindo a linha de raciocínio apresentada por esses últimos autores citados e dada esta dificuldade, o trabalho identifica a seguir elementos conceituais das duas tipologias de modularidade identificadas e analisadas. Posteriormente, são definidos os critérios a serem analisados nos elementos identificados no quadro teórico e, em seguida, são delimitados o universo de análise e suas características, visando dar suporte para classificação dos projetos de veículos selecionados posicionando-os de acordo com o seu grau de modularidade.

## 5.1 DEFINIÇÃO DOS ELEMENTOS CONCEITUAIS

Para possibilitar o desenvolvimento de uma classificação sobre adoção da modularidade em cada uma das tipologias analisadas, a literatura foi analisada buscando quais são os elementos e as relações existentes entre eles em um sistema modular. Foram então identificados os elementos conceituais (características), segundo cada tipologia da modularidade estudada. Os projetos de veículos selecionados são então analisados buscando a verificação da existência desses elementos. Cada elemento da modularidade identificado na literatura será classificado também de acordo com o modo que podem estar sendo empregados em cada projeto de veículo, a fim de verificar se a modularidade ou determinado aspecto da modularidade está sendo aplicado de forma mais profunda ou apenas de forma superficial ou introdutória, de acordo com os conceitos apresentados.

A arquitetura de produto define a forma na qual os componentes interagem uns com os outros. Há muitas formas de categorizar componentes, dependendo da finalidade do estudo. Semelhante a Ulrich e Pearson (1998), Mikkola e Gassman (2003) analisam o grau de modularidade através de observações diretas da arquitetura de produto e suas partes constituintes, onde propõem que a arquitetura de produto seja desmontada em componentes distintos de modo que o *bill of*

*materials* (BOM) é gerado. De maneira similar, este trabalho é conduzido, “quebrando” a arquitetura de produto em módulos distintos, de modo que possa ser ilustrado o “esqueleto” do produto. Antes de definir o que é um sistema modular, a fim de elencar os seus elementos conceituais em suas tipologias, é importante definir o que é a arquitetura de produto.

### **5.1.1 Arquitetura de produto**

Um produto pode ser imaginado tanto do posto de vista funcional, como em termos físicos. Os elementos funcionais são as operações individuais e transformações que contribuem para a performance do produto como um todo. Os elementos físicos são as peças, os componentes e subconjuntos que implementam as funções requeridas (ULRICH; EPPINGER, 1995). Os elementos físicos normalmente são agrupados em “blocos físicos”, que implementam as funções no produto. A arquitetura do produto é a forma em que a funcionalidade do produto é agrupada pelos blocos físicos. A arquitetura de produto, também comumente chamada de estrutura de produto, tem sido conceitualmente categorizada em duas estruturas: integral e modular (ULRICH, 1995; BALDWIN; CLARK, 2000; SCHILLING, 2000).

Segundo Jacobs *et al.* (2011), a arquitetura de produto é dita integral quando os elementos funcionais são implementados usando mais de um bloco, ou um bloco implementa várias funções. As interações entre os blocos não são bem definidas. Os autores complementam ainda que o bloco é concebido visando alta performance e a fronteira entre os blocos é de difícil identificação, senão inexistente. Em uma arquitetura integral, a mudança de um componente pode exigir um novo projeto de produto.

Na arquitetura modular os blocos físicos implementam um ou poucos elementos funcionais e suas interações são bem definidas e geralmente fundamentais para as funções primordiais do produto; a mudança de projeto de um módulo pode ser feita de forma independente, sem a necessidade de mudança em outros módulos (JACOBS *et al.*, 2011). Um produto de arquitetura de produto modular permite que diferentes grupos de projetistas trabalhem independentemente no desenvolvimento, uma vez que lidam com um número relativamente limitado e conhecido de interações entre os módulos. Já um produto de arquitetura integral requer um envolvimento e coordenação muito grande entre os grupos. Por isso, para um produto

de arquitetura modular, é mais simples a delegação da responsabilidade pelo desenvolvimento e produção de módulos para diferentes empresas (MELLO, 2006).

A ilustração clássica para um produto com uma arquitetura de produto modular aberta é o computador pessoal, onde o microprocessador, o *hard-disk* e o monitor, entre outros, são desenvolvidos e produzidos por diferentes empresas, e montados por uma outra empresa (BALDWIN; CLARK, 1997). Um corpo substancial da literatura sugere que muitos produtos estão cada vez mais modulares com o tempo, e que este desenvolvimento é frequentemente associado com uma mudança na estrutura da indústria para graus mais elevados de especialização (SANCHEZ; MAHONEY, 1996; LANGLOIS, 2002). A maioria dos trabalhos empíricos suporta a noção de uma evolução da arquitetura do produto integral para arquiteturas de produtos modulares.

Comparando as diferentes maneiras que a modularidade é definida e utilizada nas publicações, revela-se que as definições muitas vezes são semelhantes, mas não idênticas. Buscando sintetizar como o termo modularidade é usado comumente por estudantes e pesquisadores, este fato leva a noções de módulos e interfaces. Muitos autores descrevem a modularidade como módulos com interdependência relativamente fracos entre si e relativamente grandes interdependência em seus componentes (ULRICH, 1995; BALDWIN; CLARK, 2000; SCHILLING, 2000). No entanto, a tentativa de operacionalizar esse conceito, um tanto genérico, conduz a algumas perguntas. Se o nível de interdependência de uma subunidade é uma pré-condição para tornar-se um módulo, pode-se dizer que diferentes níveis de interdependências representam diferentes níveis de modularidade? O que pode determinar esses diferentes níveis de interdependência?

Para melhor abordar essas questões a fim de elaborar o primeiro quadro analítico, o princípio fundamental aplicado a todas as tipologias de modularidade é claro: um sistema hierarquicamente agrupado (JACOBS *et al.*, 2011). É possível trazer da literatura em engenharia de sistemas, que um sistema é determinado pelos seus elementos e pelas relações entre esses elementos (MAIER; RECHTIN, 2000). Analogamente a um sistema, todo produto pode ser descrito através de seus elementos e as relações entre eles. Dessa visão, duas dimensões para descrição da modularidade de um produto podem ser definidas: os elementos em que o produto consiste, ou seja seus módulos, e as relações entre estes elementos.

De acordo com Salvador (2007), a modularidade é uma propriedade de um conjunto de produtos, chamada “sistema de

produto”. Um sistema de produto pode ser um modelo de carro e suas possíveis variantes comercializadas em um determinado momento do ano ou, até mesmo, algo que ainda nem foi produzido, ou seja, pode ser uma sequência de modelos de um carro e suas variantes a serem produzidas no futuro.

Em relação a modularidade de produção, Salerno *et al.* (2008) afirmam que a mudança de relacionamento entre fornecedores e montadoras ocasionadas pela modularidade, traz consigo uma ampliação do conceito de modularidade, para uma relação de serviço entre ambos, além da divisão dos investimentos e riscos. O Quadro 4 adapta essa definição para as tipologias de modularidade estudadas, mostrando este conceito de sistema modular de desenvolvimento de produto, simplificada e chamado de sistema modular de produto e sistema modular de produção.

Quadro 4 – Definições de sistemas modulares de produto e produção.

	<b>Divisão do:</b>	<b>Módulos compostos de:</b>	<b>Nível de modularidade</b>
<b>Sistema modular de produto (ponto de vista funcional)</b>	Produto em módulos	Características ou funções, definidas no desenvolvimento do produto	Definido através das relações entre os módulos e quantidade de funções
<b>Sistema modular de produção (ponto de vista físico)</b>	Processo em módulos	Fabricação e/ou montagem de componentes, subconjuntos físicos	Definido através das relações entre os fornecedores e montadoras (OEM)

Fonte: desenvolvido pelo autor com base na literatura (MAIER; RECHTIN, 2000; SALVADOR, 2007; SALERNO *et al.*, 2008; JACOBS *et al.*, 2011)

Quando se aborda a modularidade de produto e a modularidade de produção, pode-se afirmar que a modularidade consiste basicamente na divisão de um produto (ou processo) em módulos compostos de várias tarefas ou até mesmo atividades de projeto (ou componentes). Adicionalmente, o Quadro 4 indica que, em um sistema modular de produto, podem existir diversos tipos de relações entre os módulos. Essas relações podem determinar um maior ou menor nível de modularidade de um produto. As relações, neste caso, significam várias opções para um mesmo módulo (o que pode trazer a variabilidade de

produto, seja por configuração tardia ou não, chamada de “substituibilidade”), a compatibilidade entre módulos em uma família de produtos, a existência de interfaces padronizadas, facilitando a “conexão” entre os módulos etc.

Em um sistema modular de produção, o grau de modularidade pode ser estimado principalmente pela relação existente entre uma montadora e seus fornecedores. Dado que diversos autores associam algumas tarefas (montagem dos módulos, localização dos fornecedores, existência de estrutura hierárquica de fornecedores, gestão da cadeia etc.) com a evolução desses tipos de relacionamentos (COLLINS *et al.* 1997; PIRES; SACOMANO NETO, 2010). Camuffo (2000) afirma que modularidade de produção significa escolher os limites de plantas para facilitar tanto a fabricação quanto a montagem, buscando a variedade de produtos, fluxo de produção, custo e requisitos de qualidade. Pode-se então inferir que essa definição está associada diretamente ao tipo de arranjo produtivo. A proximidade de localização entre fornecedores e montadora é relatada por Salerno (2001) como sendo crucial para muitos módulos, porém ressaltando, que outros aspectos também devem ser analisados. Outra relação existente em um sistema modular de produção é a definição sobre qual a empresa faz a montagem de módulos na linha final de produção, se montadora ou fornecedor(es).

Antes de apresentar as relações que existem nestes sistemas, sua definição e os critérios para classificação da modularidade é necessária a definição do elemento que compõe ambos os sistemas e é o grande responsável pelas intensas e complexas relações que definem o grau de modularidade: o módulo.

#### 5.1.1.1 Definição de módulo

A essência da divisão de um produto em módulos físicos é bem retratada na parábola de Simon (1962), sobre a fabricação de relógios:

Existiam dois relojoeiros, um chamado Tempus e o outro Hora, eles fabricavam relógios finos e cada relógio por eles fabricado era composto por 1000 partes cada um. Tempus construía seu relógio de tal maneira que se ele parasse por um momento, para atender o telefone por exemplo, imediatamente seu relógio se desmontava aos pedaços e tinha que reiniciar a montagem de todos os elementos. Os relógios feitos por Hora não eram menos complexos do que os construídos por Tempus. Mas ele havia desenhado seu relógio de forma que ele pudesse reunir subconjuntos estáveis de cerca de 10 elementos cada. Portanto, quando Hora tinha que colocar o relógio



parcialmente montado no balcão para atender o telefone, ele perdia apenas uma pequena parte de seu trabalho, e montava seu relógio apenas numa fração do tempo utilizado por Tempus para montar o seu (SIMON, 1962 p. 4).

Para definir um módulo, pelo ponto de vista da modularidade de projeto, é preciso que o produto seja decomposto em sub-unidades. No entanto, a divisão da arquitetura de produto de veículos utilizada neste trabalho, foi extraída da compilação dos módulos comumente encontrados no desenvolvimento de veículos a partir da literatura. A fim de que seja identificada a existência desses módulos em cada projeto de veículo analisado. A existência de “sub-módulos” dentro de um módulo específico pode ser identificada, porém não é analisada em profundidade, focando a análise principalmente nos módulos de primeiro nível e as suas inter-relações.

A abordagem utilizada nesse trabalho considera uma estrutura de produto essencialmente fixa (havendo pequena diferenciação entre as particularidades de cada projeto ou de cada empresa) e que as características do produto variam dentro dos limites funcionais dos elementos que compõem os módulos. Assim, somente sub-unidades (módulos) pré-determinadas do produto podem ser trocadas. A substituição de um módulo por outro requer que tenham a mesma contribuição funcional para o produto, sem comprometer a função principal, e ainda, a interface deve garantir a intercambiabilidade dos módulos, que é discutido na próxima seção.

Henderson e Clark (1990) sustentam que um componente é uma porção física do produto que incorpora um dos conceitos principais de projeto e executa uma função bem definida. Salvador (2007) define que funções específicas de produto são obtidas combinando diferentes módulos, complementando que módulos de produto têm em si a capacidade de executar funções específicas, similar ao “componente” de Henderson e Clark (1990). Estes são chamados módulos funcionais, sendo partes distintas de um produto executando funções específicas. Baldwin e Clark (2000) também utilizam a denominação de módulo funcional para o que chamam problema de projeto. Não há uma distinção bem definida entre módulos e componentes, para efeito deste trabalho. Quando o termo “componente” foi encontrado em outras publicações para se referir ao que a literatura aponta sendo um módulo típico da indústria automotiva (vide Quadro 5), este foi entendido como módulo, com exceção em trabalhos específicos onde a separação da similaridade entre módulos e componentes era clara entre os dois. De

modo similar, este raciocínio foi utilizado na abordagem de módulos e sistemas e optou-se por não entrar na discussão de suas diferenças.

Os principais módulos presentes na literatura sobre a indústria automotiva são apresentados no Quadro 5.

Quadro 5 – Módulos encontrados na literatura

<b>MÓDULOS TÍPICOS NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA</b>		
<b>Módulos comumente categorizados no 1º nível da cadeia</b>		
Motor	Para-choques	Eixo dianteiro
Assentos	Painel da porta	Eixo traseiro
Rodas	Carroceria	<i>Rear end</i>
Pneus	Sistema de escape	Iluminação
Portas	Teto	Sistema de direção
<i>Cockpit</i> (painel de instrumentos)	Sistema de combustível	Sistema de câmbio - transmissão
Plataformas	Vidros	Suspensão dianteira
<i>Front end</i>	Pintura	Suspensão traseira
Sistema de refrigeração		Fiação-chicotes
<b>Módulos comumente categorizados em outros níveis</b>		
Cantos de suspensão	Tapeçaria	Peças plásticas
Pedais	Estampados	Sistema de teto-solar
<i>Soft top</i>	Coluna de direção	Acabamento interno
Linhas de combustível e de freios		

Fonte: Desenvolvido pelo autor com base em: Hoek e Weken (1998), Dias e Salerno (1999), Salerno (2001), Fredriksson (2006b), Mello (2006), Morris e Donnelly (2006), Mello e Marx (2007a), Pandremenos *et al.* (2009), Salerno *et al.* (2009).

Havendo a existência de algum dos módulos listados em determinado projeto, este será analisado por meio das suas características de desenvolvimento e suas inter-relações com os demais módulos, com a família de produtos, suas interfaces, dentre outros. Ou seja, os módulos são enquadrados de acordo com a definição dos elementos conceituais a serem definidos, quanto mais módulos enquadrados nos conceitos abordados na literatura, mais modular o projeto.

Os módulos listados no Quadro 5 formam uma espécie de “esqueleto” da estrutura do produto. Como não há na literatura, uma definição padrão dos módulos existentes em veículos de passeio e tampouco da sua classificação em níveis (até mesmo pelas particularidades de cada projeto), foi realizado no presente trabalho um apanhado geral da literatura dos módulos comumente encontrados e sua diferenciação em níveis.

Como citado, o quadro 5 mostra diversos módulos de 1º e 2º segundo níveis da cadeia de suprimentos (modularidade de produção) e da divisão da arquitetura de produto (modularidade de projeto) encontrados na literatura. Há que ressaltar ainda que alguns são frequentemente encontrados pelos mais diversos autores e outros, no entanto, são mais comuns em um determinado segmento de produto como, por exemplo, o módulo do sistema de teto-solar, relatado como um módulo muito específico do segmento de veículos de luxo (*premium*) e que praticamente inexistente em carros mais simples. Há ainda módulos que são considerados sub-módulos (em segundo ou terceiro nível) de um módulo maior, como é o caso do módulo de sistema de refrigeração, considerado pertencente ao módulo frontal do veículo em alguns casos; isto explica a divisão de módulos em diversos níveis como destacam alguns autores (e.g. FREDRIKSSON, 2006b; PANDREMENOS *et al.*, 2009).

Claramente, a literatura não revela um número específico de módulos existentes dentro de uma arquitetura de produto (FREDRIKSSON, 2006b; BATCHELOR, 2006), até mesmo pela existência de diversos tipos de automóveis, variações de projetos de veículos e porque há variações de definições de um mesmo módulo nas empresas como, por exemplo, o *cockpit* (ZAKARIAN; RUSHTON, 2001) e outros (BATCHELOR, 2006). O módulo citado é visto como uma junção dos módulos de sistema de direção, painel, pedais (MELLO; MARX, 2007a) e até mesmo assentos em alguns casos; em outros, porém, se resume basicamente ao painel de instrumentos e comandos eletrônicos, sem os pedais (SALERNO, 2001). Vale salientar que o sistema de *cockpit*, chega a apresentar inclusive funções de *powertrain* (ZAKARIAN; RUSHTON, 2001). Isso mostra que um módulo depende da definição do projeto feito pelas montadoras. Há ainda diversos tipos de relações entre esses módulos e que são mais detalhadas a seguir.

### 5.1.1.2 Elementos conceituais dos sistemas modulares

Dentro de uma arquitetura do produto, os módulos de primeiro nível podem se relacionar de diferentes maneiras, sendo uma delas a presença ou não de sub-módulos, caracterizando a existência de outros níveis. O mesmo pode acontecer com os módulos de primeiro nível na cadeia de fornecedores, ou na linha de montagem. Outro aspecto relacional é a possibilidade da combinação de diferentes sub-módulos alterarem a característica do módulo em que estão contidos ou, no caso dos módulos de primeiro nível, essa combinação altera a configuração do produto final. Existe ainda a possibilidade de um determinado módulo ser utilizado em toda uma família de produtos, estendendo o grau de modularidade para outros produtos. Há ainda importantes definições que podem afetar as relações entre módulos de projeto descritos por alguns autores, como a padronização de interfaces (diminuindo as interações entre os módulos), a “comonalidade” de componentes e as funções dos módulos (FIXSON, 2005), que podem ser vistos no Quadro 6 e serão detalhados na seção seguinte.

Mesmo sem utilizar a nomenclatura<sup>1</sup> apresentada no Quadro 6, algumas dessas relações entre os módulos são resumidas por Morris e Donnelly (2006), quando descrevem que a arquitetura de produto modular “pura” ocorre quando um módulo controla uma função, a montadora controla o desenho dos módulos e especificações das interfaces e relações dentre eles. Estas descrições podem ser associadas a divisão da estrutura de produto, a independência e a “substituibilidade”. Salvador (2007) também propôs a definição de diferentes elementos da modularidade, mapeando autores com publicações sobre o tema, de forma semelhante ao Quadro 6.

---

<sup>1</sup> Algumas palavras não existentes na língua portuguesa foram utilizadas para a elaboração do quadro 6 como, por exemplo: “substituibilidade” e “comonalidade”, traduzidas livremente do inglês *substitutability* e *commonality*. Em algumas passagens do trabalho também pode ser identificada a palavra “combinabilidade”, traduzida de *combinality*. Essas palavras podem ser substituídas, respectivamente, por termos como capacidade de substituição, capacidade em compartilhar (com outros produtos) e capacidade de combinação (entre os módulos).

Quadro 6 – Elementos conceituais em modularidade de projeto

<b>Possíveis relações entre os módulos no desenvolvimento de produto</b>	<b>O que é?</b>	<b>Referências</b>
Compatibilidade ( <i>Compatibility</i> ou <i>interface standardization</i> )	Existência de interfaces compatíveis para "ligação" dos módulos, interface padronizada	[1], [2], [3], [4], [5]
“Substituibilidade” ( <i>Substitutability</i> ou <i>component combinality</i> )	Existência de diferentes modelos de um mesmo módulo, a combinação de diferentes módulos resulta em variabilidade para um modelo	[1], [2], [3], [4], [5]
“Comonalidade” ( <i>Sharing</i> ou <i>commonality</i> )	Intercambialidade de módulos entre a família de produto	[1], [4]
Independência ( <i>Loose Coupling</i> )	Um sistema que pode ser particionado em unidades menores (módulos), podendo ser projetado independentemente	[2], [3], [4], [5], [6]
Divisão da estrutura de produto ( <i>Function binding</i> )	Descreve o produto em termos de suas funções, é o mapeamento de funções para componente físicos	[4], [5]

Fonte: [1] Gonzales-Zugasti e Otto (2000), [2] Hsuan e Hansen (2007), [3] Mikkola e Skjott-Larsen (2006), [4] Salvador (2007), [5] Mikkola e Gassman (2003), [6] Fredriksson (2006b).

Os principais elementos da modularidade de projeto identificados na literatura e utilizados no presente trabalho estão relacionados no Quadro 6. Em modularidade de produção, os principais elementos são: tipo de arranjo produtivo, terceirização de atividades, propriedade de ativos e gestão de recursos humanos, e são definidos na seção 5.1.1.2.2.

Cada módulo existente dentro da arquitetura de produto de um determinado projeto pode ser analisado (de acordo com a disponibilidade de dados) por meio das relações que este módulo possui com os demais módulos do projeto. Em modularidade de projeto um

módulo pode ser compatível, substituível, compartilhável etc. Em um dado projeto, a maior quantidade de módulos qualificados de acordo com os elementos mostrados no Quadro 6, ou seja, módulos compatíveis, independentes, compartilháveis e substituíveis, significa um maior grau de adoção da modularidade. Por exemplo, quanto mais módulos identificados como “compatível” em um determinado projeto, mais modular é este projeto em relação ao elemento “compatibilidade”, e assim sucessivamente com os demais elementos elencados no quadro anterior.

A seção seguinte visa definir todos esses elementos em suas tipologias e como são avaliados.

#### *5.1.1.2.1 Definições dos elementos da modularidade de projeto e critérios para classificação dos projetos de veículos*

A modularidade no projeto visa reduzir o tempo de concepção através da realização simultânea das atividades de projeto dos módulos que compõem o produto ou processo. Sanchez e Mahoney (1996) discutiram o projeto de produto com arquitetura modular como sendo uma estratégia para coordenar o conhecimento disperso pela externalização do desenvolvimento de produto, propondo que a divisão e coordenação das atividades de desenvolvimento de produto são melhor gerenciadas através da decomposição estruturada do sistema em um conjunto sucessivo de subsistemas (semelhante a divisão mostrada no Quadro 5), dado um sistema complexo, como é o projeto de desenvolvimento de um automóvel.

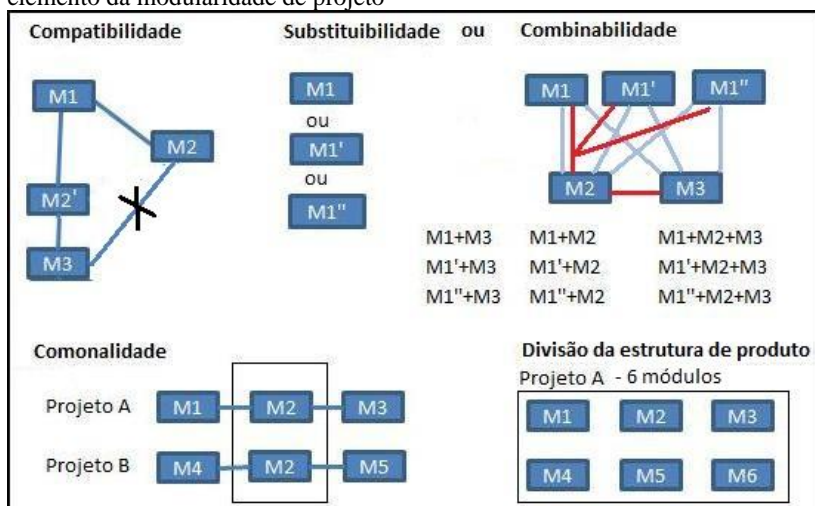
Quando todas as atividades de desenvolvimento de produto estão centralizadas sob a responsabilidade de um único gestor, a coordenação é feita seguindo a hierarquia. No entanto, quando as atividades estão dispersas entre diferentes organizações – sejam elas diferentes áreas de uma empresa, ou diferentes empresas - o sistema torna-se aberto, ou seja, teoricamente não haveria uma entidade centralizadora controlando todas as atividades desempenhadas pelas diferentes organizações (MELLO; MARX, 2007a) sob o risco inclusive de “perda do conhecimento”<sup>2</sup>. Nesse caso, há a necessidade de o projeto do produto ser pensado de uma forma em que haja alto grau de interdependência entre os componentes, onde as interfaces entre os diferentes

---

<sup>2</sup> Para mais detalhes vide Zirpoli, F. e Caputo, M. The nature of buyer-supplier relationships in co-design activities – the Italian auto industry case. International Journal of Operations and Production Management, v. 22, n. 12, 2002.

componentes sejam bem especificadas e padronizadas, mas definidos por uma empresa de posição forte na cadeia. Hoje os integradores de tais atividades, os gestores desses projetos, são na maioria das vezes as próprias montadoras, e são estas interfaces padronizadas que permitem que as atividades de desenvolvimento de produto sejam conduzidas paralelamente e que sejam controladas por quem domina as interfaces. A exemplificação dos elementos conceituais da modularidade de projeto é ilustrada na Figura 7, mostrando como os módulos se relacionam (interagem) entre si.

Figura 7 – Comportamento relacional dos módulos sob a perspectiva de cada elemento da modularidade de projeto



Fonte: desenvolvido pelo autor com base em: Ulrich (1995), Gonzales-Zugasti e Otto (2000) e Salvador (2007).

Como pode ser visto na Figura 7, cada elemento da modularidade de projeto é definido pelas suas características relacionais com os demais módulos e pela presença dessas características os projetos analisados no trabalho são classificados na modularidade de projeto. A definição de cada elemento, suas características e como irão contribuir para a classificação dos projetos é explicitada da seguinte forma:

- **Compatibilidade:** O termo “interfaces padronizadas” passou a existir quando a IBM utilizou especificações que habilitavam a utilização de diferentes processadores, equipamentos, memórias,

etc. em uma família de computadores (SALVADOR, 2007). As interfaces são conexões compartilhadas entre componentes e as especificações de interface definem o protocolo para as interações fundamentais entre os componentes; o grau em que as interfaces são padronizadas e especificadas define o grau de compatibilidade entre os componentes (MIKKOLA; GASSMAN, 2003). Estes autores previamente citados sustentam ainda que, os componentes padrão têm interfaces bem definidas e padronizadas, portanto, arquiteturas de produto composto por componentes padrão são modulares.

A compatibilidade das interfaces entre os módulos de um produto foi relatada por Hsuan e Hansen (2007) como o coração para a organização de uma plataforma modular, pois possibilita a capacidade de substituição de módulos numa dada arquitetura de produto, complementando ainda que interfaces padronizadas e especificadas adequadamente determinam quando a externalização é uma estratégia viável. A Figura 7 mostra um exemplo em que o módulo M1 é totalmente compatível com o módulo M2 e com a sua variante, chamada M2', estes dois módulos são suficientes para a construção do produto final básico. Um terceiro módulo opcional (M3) é compatível apenas com o módulo M2', ou seja, onde M2 estiver o módulo M3 não poderá estar, e vice-versa; pode-se então dizer que o módulo M3 não é compatível com o módulo M2, o que inclusive, diminui o número de possibilidades de configurações deste produto hipotético.

O aprofundamento da análise da existência de compatibilidade dos módulos pode ser obtido através de dados que possam refletir a facilidade de conexão entre eles, aquelas realizadas em uma só operação, uma abordagem chamada de *plug and play*<sup>3</sup>. Pode-se inferir que módulos com interfaces padronizadas e especificadas adequadamente sempre poderão ser conectados com outros que tenham os mesmos requisitos de padronização. Esse aspecto de análise da modularidade de produto é, na verdade, uma das grandes dificuldades do trabalho, pois um automóvel, como já relatado, não é muito propenso a arquiteturas modulares, o que aumenta a

---

<sup>3</sup> Definição proposta por Chanaron (2001), sendo o módulo um “conjunto de componentes e subsistemas que são pré-montados fora da linha e entregues à etapa final prontos para ser agregados ao veículo numa única operação”. Para mais detalhes vide: Chanaron, J. Implementing technological and organizational innovations and management of core competencies: lessons from the automotive industry. International Journal of Automotive Technology and Management, v.1, n. 1, 2001.



dificuldade em encontrar dados que mostrem quão fortemente e como estão conectados os módulos.

- **Independência:** A idéia central de independência refere-se a capacidade de um sistema ser “quebrado” em unidades menores, ou módulos e, por essa perspectiva, dividir um sistema complexo fica mais fácil de entender, conceber e produzir este sistema, do que se ele tivesse que ser concebido e produzido como um todo (SALVADOR, 2007). Baldwin e Clark (1997) sustentam que a modularidade é produzir um produto ou processo complexo a partir de subsistemas menores, projetados independentemente, que funcionam em conjunto como um todo, sendo uma estratégia eficiente para organizar produtos e processos complexos. A forma como esses subsistemas estão interconectados cria um grau de acoplamento, um componente que tem conexão com muitos outros para executar sua função tem um alto grau de acoplamento ou, em termos mais simples, ele é pouco independente, logo, mais integrado.

Salvador (2007) já afirmava que uma arquitetura de produto com alto percentual desses componentes podem não ser fácil de ser decomposta. Segundo Schilling (2000), uma arquitetura de produto com alto grau de acoplamento, inibe a recombinação, separação e substituição de módulos, o que impede a arquitetura de ficar mais modular (MIKKOLA; GASSMAN, 2003).

A modularidade cria, intencionalmente, um alto grau de independência entre os projetos de componentes através da padronização das especificações de interface dos componentes; assim, a modularidade pode mover uma empresa para a desintegração vertical, ou pode ainda promover o nascimento de *cluster* modulares (LANGLOIS; ROBERTSON, 1992; BALDWIN; CLARK, 2000; MIKKOLA; GASSMAN, 2003). Do ponto de vista da montadora, quanto mais especificado e independente maiores as chances de externalizar o desenvolvimento de um módulo. Esta não é só uma decisão de *make or buy*, mas também de definição das *core competencies* ou de manutenção da capacidade inovadora pela montadora. Porém, do ponto de vista desse trabalho assumiu-se que a externalização indica maiores sinais de independência dos módulos, ou seja, quanto mais módulos desenvolvidos por fornecedores, maior o grau de modularidade de produto em relação ao elemento “independência”.

Esse elemento pode ser analisado, então, pela existência de módulos sendo desenvolvido por terceiros, pelos fornecedores, dado que assim exige-se que o produto tenha uma arquitetura bem delineada, de forma que o produto seja bem dividido, gerando um alto grau de independência entre os módulos, possibilitando que sejam projetados em separado e até em paralelo.

- **“Substituibilidade”:** Produtos são modulares quando diferentes configurações de um produto podem ser obtidas misturando e combinando componentes a partir de um dado conjunto (SALVADOR, 2007). A essência da visão de “combinabilidade” de componentes, originada por Starr (1965), é maximizar a variedade de montagem combinatória a partir de um dado número de componentes com base em um catálogo. Essa perspectiva enfatiza a modularidade de produto como um caminho para satisfazer a fragmentação das demandas de mercado através do aumento da gama de uma linha de produto. A empresa deve desenvolver variantes do produto criando variantes dos módulos principais do produto, direcionando a diferentes segmentos de mercado.

Uma implicação deste conceito é que diferentes segmentos de mercado exigem produtos ligeiramente diferentes. As variantes dos produtos direcionadas a cada segmento devem ser diferentes em um ou mais módulos e o restante do produto permanece inalterado. Langlois e Robertson (1992) construíram a noção de sistema modular com base na visão combinatória de Starr (1965), onde definiram que um sistema modular pode ser visto como um produto já definido em sua forma final, mas que pode ser dividido em subgrupos de produtos que os consumidores podem organizar em várias combinações de acordo com suas preferências pessoais. O impacto da “substituibilidade” na modularidade do produto também pode ser adaptado de um modelo matemático, adaptando a proposta de Mikkola e Gassman (2003), chamada de fator de “substituibilidade”. De forma mais simples, este pode ser estimado através do número possível de combinações de um produto dentro de uma família de produtos, quanto mais combinações possíveis, mais modular o produto, pois facilita a customização em massa e pode atingir mais segmentos de mercado.

A Figura 7 mostra um exemplo onde o módulo M1 tem alto grau de “substituibilidade”, podendo variar entre 3 modelos catalogados, os módulos M2 e M3 apresentam baixa “substituibilidade”, pois

não apresentam variantes de seus módulos. Numa situação hipotética onde a arquitetura do produto obrigasse a presença de no mínimo um segundo módulo além do módulo M1, o produto teria ao menos 9 tipos de configurações possíveis.

- **“Comonalidade”:** Este conceito é comumente presente em estudos anteriores, e expressa a existência de módulos além daquela que possibilita a variedade em um produto, ou seja, o seu uso em diferentes linhas de produto, ou família de produtos. Ulrich e Tung (1991) propõem essa noção como “modularidade de compartilhamento de componentes”, ou pode ser chamado no presente trabalho de compartilhamento de módulos entre diferentes produtos.

Na ilustração da Figura 7 são apresentadas as arquiteturas de produto de 2 produtos diferentes. Tanto o projeto A quanto o projeto B possuem 3 módulos, porém, apenas o módulo M2 é comum aos projetos. Módulos compartilhados em diferentes projetos possibilitam ganhos de escala na fabricação.

Dessa maneira, o trabalho procura identificar então, se os módulos de determinado projeto são compartilhados com os demais produtos da empresa e, neste sentido, tornam-se mais modular, por apresentar ganhos de escala em sua produção.

- **Divisão da estrutura de produto em funções:** Esse elemento descreve o produto em termos das funções que ele executa e como essas funções estão relacionadas, a definição da estrutura de funções do produto é um passo fundamental na engenharia de projeto do processo (SALVADOR, 2007). Segundo Ulrich (1995), corresponde ao mapeamento das funções para componentes físicos, onde cada módulo é responsável por assumir apenas uma função. Um modelo matemático foi elaborado por Mikkola e Gassman (2003) para determinar o grau de modularização no que se diz respeito ao elemento função no caso específico que estudaram. Um dos quesitos assumidos pelos autores citados era que as especificações funcionais dos componentes, incluindo as especificações de interface, não mudam em um determinado período de tempo. Isso possibilita avaliar a configuração da arquitetura independentemente de outros subsistemas.

Na arquitetura de produto integrada, várias funções são implementadas por um componente do produto. Se for ampliada a noção de funções incluindo áreas tais como conforto, aparência,

dirigibilidade e outras características que influenciam a escolha do consumidor e podem ser fontes de diferenciação de produto agregando valor, o limite para modularidade aparece já que essas “funções” provêm de diferentes módulos. Adotando a definição de que um módulo executa uma função bem definida e dada a complexidade do projeto de um veículo e a dificuldade em verificar a quantidade de funções exercidas por seus módulos, para fim de análise desse trabalho, tem-se que apenas esse elemento será analisado quantitativamente. Assume-se então que, quanto mais dividido o projeto em partes menores, ter-se-a mais independência dos módulos, mais interfaces e a possibilidade de mais funções (módulos) ao dispor dos consumidores, ou seja, mais modular. O nível de divisão de cada projeto, é definido pela quantidade de módulos identificados em sua arquitetura de produto, baseando-se na identificação dos módulos típicos encontrados na literatura, estabelecidos no Quadro 5. O exemplo da Figura 7 mostra um produto com 6 módulos, independente da relação entre eles, se podem ser combinados ou comutados com outros produtos etc., ou seja, é basicamente uma lista de módulos existentes para aquele produto, quanto mais módulos existentes, mais modular.

Todas essas características relacionais como, combinações possíveis, “comonalidade” na família de produtos, quantidade de módulos identificados na arquitetura de produto, existência de interfaces padronizadas etc. tem o mesmo peso para análise do grau de modularidade, sendo essa uma simplificação da proposta elaborada, pois decidiu-se não entrar no mérito de qual desses elementos estabelecidos tem, efetivamente, maior importância, na construção de um projeto modular. Cada um desses elementos são classificados qualitativamente em 3 diferentes níveis: “baixo”, “moderado” e “alto”, considerando-se apenas o elemento analisado, independente aos demais e de acordo com as características identificadas em cada projeto em relação aos outros.

#### *5.1.1.2.2 Definições dos elementos da modularidade de produção e critérios para classificação dos projetos de veículos*

A modularidade de produção pode ser classificada pela localização e relacionamento existente por quem executa o processo de montagem física dos módulos identificados do produto, seja na linha de montagem da montadora ou externos a ela. Segundo Salvador (2007), os módulos tangíveis, em artefatos montados (chamado neste trabalho de

sistema modular de produção) são constituídos de componentes, ou módulos, separáveis ou combináveis.

Arnheiter e Harren (2005) definem como principais elementos da modularidade de produção, o favorecimento à customização em massa, a flexibilidade, e a integração com o fornecedor. De forma semelhante, Fredriksson (2006c) chama a integração com o fornecedor de “coordenação”. Doran (2003) refere-se basicamente às relações típicas estabelecidas entre as grandes montadoras e sua rede de fornecedores hierarquicamente organizados (diferenciando os fornecedores em níveis), relatada pelo autor através da transferência de atividades de pré-montagem e testes de módulo para o fornecedor.

Collins *et al.* (1997) descrevem um processo transitório e evolutivo de configurações de plantas automotivas, indo do *just in time* (que é uma evolução do sistema “Fordista”) para a produção modular, passando pelos condomínios industriais e chegando ao extremo, que seria o consórcio modular. De forma semelhante, Pires (2001) acrescenta o aumento da terceirização de atividades neste mesmo caminho de transição entre essas configurações.

Assumindo que a modularidade num todo contribui para customização em massa, e a flexibilidade na produção pode ser aumentada com um alto nível de coordenação e sinergia com os fornecedores, a modularidade na produção será analisada de acordo com o relacionamento entre a montadora e os fornecedores, considerando-se os principais aspectos identificados na literatura:

- Configuração do arranjo produtivo (COLLINS *et al.*, 1997; CAMUFFO, 2000; PIRES; SACOMANO NETO, 2010; SAKO, 2006);
- Terceirização de atividades e integração com fornecedor (DORAN, 2003; ARNHEITER; HARREN, 2005; FREDRIKSSON, 2006; COLLINS *et al.*, 1997; PIRES; SACOMANO NETO, 2010; SAKO, 2006).

Do ponto de vista do presente trabalho, se a realização da montagem dos módulos de primeiro nível é dentro do parque fabril da montadora ou externamente, se é feita diretamente pela montadora ou por fornecedores ou até mesmo por sistemistas, dependendo do arranjo produtivo e da localização dos fornecedores, isso pode influenciar na caracterização de um sistema ser mais modular do que outro. A afirmativa de Salerno (2001) que, a relação entre fornecedores e montadoras nos condomínios industriais vai além das questões de

proximidade de localização, mostra a necessidade de que outros aspectos também sejam avaliados além da organização da produção e da terceirização de atividades. Adicionalmente aos fatores já elencados, Sako (2006), Salerno (2001) e Marx *et al.* (1997) incluem ainda outras perspectivas de análise em relação à modularidade de produção que também são considerados no presente trabalho a fim de aprofundar esta análise: o compartilhamento, ou posse de ativos e a gestão de recursos humanos.

Fredriksson (2006b) já ressaltava que a literatura revela diferenças no número de módulos existentes em cada veículo. No entanto, este trabalho faz um apanhado da literatura mostrando os módulos comumente encontrados na indústria automotiva e já mostrados no Quadro 5. Embora a produção modular possa ser realizada pela montadora, sem subcontratação de fornecedores, o grau de modularidade de produção é analisado nesse trabalho de acordo com a terceirização de atividades, como a montagem do módulo, quanto mais externalizada a montagem física, podemos dizer que o grau de modularidade é aumentado.

Partindo de um conceito mais modular, no quesito terceirização de atividades, para um conceito menos modular tem-se: fornecedores realizando a montagem na linha de produção, fornecedores entregam módulos/subconjuntos diretamente na linha de montagem ou fornecedores apenas entregam módulos/subconjuntos para a montadora.

Em relação aos tipos de arranjo produtivo, pode-se ter os seguintes tipos de relacionamento em um sistema modular de produção:

- **Montagem feita diretamente na linha por fornecedores localizados na fábrica (consórcio modular):** O exemplo chave de produção totalmente modular é a fábrica de caminhões da VW em Resende, onde toda a responsabilidade pela produção dos veículos foi terceirizada para fornecedores (DIAS, 1998; PIRES, 2001; VASCONCELLOS; HEMSLEY, 2002). No consórcio modular, a montagem do módulo é feita diretamente na linha de montagem do produto final, com mão de obra dos próprios fornecedores que trabalham de forma exclusiva para a montadora (PIRES, 2002) e estão alocados no mesmo prédio, sob o mesmo teto.
- **Módulo entregue na linha por fornecedores localizados no mesmo terreno (condomínio industrial):** Este tipo de arranjo é semelhante ao tipo de produção anterior (consórcio modular), porém, o arranjo em forma de condomínio não tem relações tão

fortes como o consórcio modular, assim, segundo Salerno (2001) e Pires e Sacomano Neto (2010), as principais empresas fornecedoras (sistemistas) estão instaladas no mesmo terreno que a montadora, porém não são responsáveis diretos pela montagem no produto final (embora, em alguns casos, funcionários dos fornecedores prestem algum tipo de assistência a linha de montagem), deixando que a mão de obra da própria montadora exerça tal função. Ainda segundo os autores citados, é comum nessa tipologia os módulos serem entregues prontos, *just in time* ou *just in sequence* de acordo com a necessidade da montadora.

Nesses casos, a localização dos fornecedores amarra-se a logística da montadora, sendo por ela projetada e negociada com o governo quando necessário. A montadora inclusive usa a presença de fornecedores nos arredores como poder de barganha em suas negociações, pois com o aumento de empresas instaladas no local, aumenta o número de empregos gerados e consequentemente há a necessidade de um terreno maior para as instalações. De acordo com Dias e Salerno (1999), o condomínio industrial pode ser definido pela configuração onde alguns fornecedores, escolhidos pela montadora, estabelecem suas instalações nas adjacências da planta da montadora e passam a fornecer componentes ou subconjuntos completos. A montadora posiciona-se como coordenadora de todo o projeto. Isso significa que é ela quem decide que produtos serão fornecidos através do condomínio, que empresas devem fornecer esses produtos, onde elas se localizarão no condomínio e como deverão ser realizadas as entregas, além, é claro, da frequência da entrega e das especificações técnicas do produto (SALERNO, 2001). Em alguns casos, verifica-se a liberação pela montadora, para que os sistemistas forneçam para outras empresas (PIRES; SACOMANO NETO, 2010), em outros, como em Gravataí (fabricação do Celta), a liberação pode acontecer desde que não seja para empresas concorrentes (CONSERVANI, 2008).

- **Módulo entregue na fábrica por fornecedores localizados em um determinado raio de distância (distrito industrial):** Também chamado de parque industrial (quando os principais fornecedores estão muito próximos da montadora), o distrito industrial caracteriza-se pela densa concentração de fornecedores e montadora em uma determinada região, o que, entre outros aspectos o torna diferente de um condomínio industrial

(SALERNO, 2001). Os fornecedores estão localizados, não mais dentro do mesmo terreno, e a uma distância de algumas dezenas de quilômetros (SALERNO, 2001; SAKO; MURRAY, 2003), o que permite entregar módulos *just in time* de acordo com a necessidade da montadora. Porém, a localização um pouco mais afastada prejudica a prestação de serviços dentre outros benefícios associados a uma maior proximidade de instalações e troca de informações. Remetendo à questão do fornecimento de subsistemas, na medida em que se aumenta a complexidade do produto a ser fornecido – no caso, um subsistema ao invés de um componente – se aumenta a necessidade de um serviço eficaz e eficiente de assistência técnica, possibilitando solucionar pequenos problemas na linha de montagem, evitando paradas. O não compartilhamento do mesmo terreno não implica, de maneira alguma, em exclusividade da produção dos fornecedores para a montadora, em contrapartida, não permite o compartilhamento dos custos de estrutura.

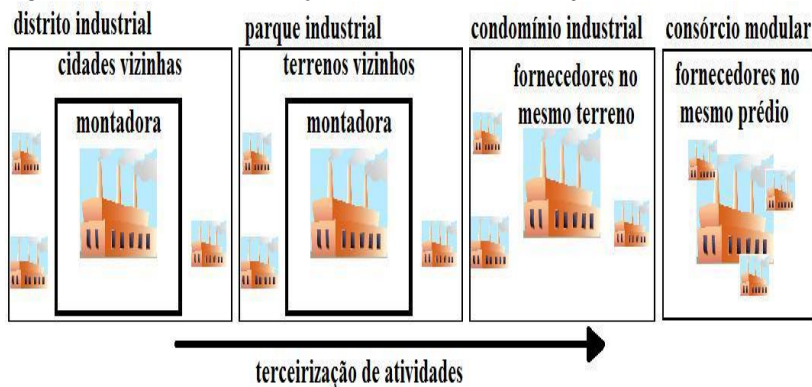
Segundo Dias e Salerno (1999), a instalação de plantas em um distrito industrial é uma decisão de cada empresa, através de uma análise de viabilidade do investimento, que pode incluir análises das condições de infraestrutura, qualificação da mão de obra e facilidade de obtenção de matéria prima. Dessa forma, qualquer empresa pode, a priori, vir a se instalar no distrito.

- **Componentes entregues na fábrica, preparação do módulo e montagem feita pela montadora:** Semelhante ao modelo convencional de produção, este tipo de relação é o mais simples de todos apresentados, pois a montadora continua realizando e gerenciando toda a cadeia de produção, inclusive a montagem dos próprios módulos que chegam até a montadora em forma de componentes separados; os fornecedores estão localizados nas mais diversas regiões. A única característica associada a modularidade é a possibilidade de “quebrar” o produto, em porções físicas menores, formando módulos que podem ser montados em paralelo, semelhante ao que foi relatado anteriormente (vide seção 2.5.1) com o painel do Escort em 1983.

O aumento da terceirização das atividades em relação aos sistemas modulares de produção é ilustrado na Figura 8.



Figura 8 – Nível de terceirização de atividades em arranjos modulares



Fonte: adaptado pelo autor com base em: Collins *et al.* (1997) e Pires (2001).

Além dos arranjos produtivos, alguns outros aspectos podem ser considerados para análise do grau de modularidade em um sistema modular de produção. A terceirização trata do redesenho das fronteiras da empresa. Contudo, a concepção que os economistas têm da terceirização difere do modo de ver dos estudiosos da engenharia e da administração. Os economistas definem a terceirização como a desapropriação de ativos. Neste sentido, há a divisão de investimentos e riscos, onde a baixa propriedade de ativos como, terrenos, fábricas, e equipamentos, é considerada aumentando o nível de modularidade (SAKO, 2006). Do ponto de vista de análise do presente trabalho, foi admitido que a simples divisão de custos fixos com os fornecedores caracteriza uma alta propriedade de ativos (menos modular ou de baixo grau de adoção da modularidade). A divisão de custos fixos, investimentos em instalações e/ou equipamentos e ferramental por conta dos fornecedores caracterizam uma propriedade de ativos moderada. Por fim, uma baixa propriedade de ativos (mais modular ou com alto grau de modularidade) reúne todas as características anteriores e, ainda, o investimento em terrenos feito por conta dos fornecedores.

Outro fator que pode influenciar no nível de modularidade de produção, é a forma como são gerenciados os recursos humanos em cada montadora, este aspecto de análise pode aprofundar a extensão da análise neste sistema. Igualmente ao proposto por Sako (2006), esse aspecto de mensuração considera os padrões de relações sociais com os fornecedores e empregados. Uma vez que estes arranjos trazem novas formas de relacionamento entre montadora e fornecedores (MARX *et al.*, 1997), surgem essas duas novas dimensões de análise que podem

aumentar o grau de modularidade do sistema analisado. Sob a perspectiva de análise no quesito gestão de recursos humanos, são três aspectos principais que podem definir quando um sistema é mais modular que outro: política salarial uniforme (montadora/fornecedores), treinamento inicial dado pela montadora e contratação de funcionários a cargo dos fornecedores (desonerando a montadora).

Em suma, a classificação em modularidade de produção dá importância a quatro fatores: (i) o tipo de arranjo (em maior evidência na literatura), (ii) o nível de terceirização das atividades, (iii) a propriedade de ativos e a (iv) gestão de recursos humanos. Diferentemente dos cinco elementos de análise em modularidade de projeto, os elementos aqui mencionados não tem o mesmo peso para análise do grau de modularidade. Dada a importância verificada na literatura em relação ao tipo de arranjo fabril, este terá o dobro do peso quantitativo dos demais elementos, configurando-se uma simplificação da proposta elaborada para mensurar o grau de adoção de modularidade dos projetos selecionados. Semelhante à modularidade de projeto cada um desses elementos serão classificados qualitativamente em 3 diferentes níveis: “baixo”, “moderado” e “alto”, considerando-se apenas o elemento analisado, independente aos demais e, de acordo com as características identificadas em cada projeto de veículo em relação aos outros.

Para sintetizar a proposta de classificação dos projetos de veículos com participação da engenharia brasileira a partir do ano 2000, foram elaborados os quadros a seguir, que condensam as definições apresentadas neste capítulo. Os quadros a seguir mostram como são feitas as classificações dos elementos conceituais definidos, em modularidade de projeto e em modularidade de produção. A seguinte lógica para classificação dos elementos em modularidade de projeto que necessitam ser classificados por meio de uma análise qualitativa pode ser vista no Quadro 7, em seguida, no Quadro 8, a lógica de avaliação dos elementos em modularidade de produção é apresentada. Com base nos Quadros 7 e 8, no capítulo seguinte são apresentadas a seleção, análise e classificação dos casos analisados segundo os critérios apresentados neste capítulo, bem como uma discussão dos resultados obtidos.

Quadro 7 – Classificação dos elementos de modularidade de projeto

<b>Relações possíveis entre um módulo e os demais (Elementos)</b>	<b>CrITÉRIOS - Como o módulo é considerado compatível, substituível, compartilhável ou independente?</b>	<b>Classificação relativa entre os dados observados em cada projeto e respectiva pontuação</b>
Compatível	Possui interfaces padronizadas, sua substituição não gera mudanças nos demais módulos	Poucos módulos compatíveis (Baixo – 1) Alguns módulos compatíveis (Moderado – 2) Módulo de grande complexidade ou diversos módulos compatíveis (Alto – 4)
Substituível	Possui diferentes opções para um mesmo módulo gerando diferentes opções de configuração do produto final	Poucos módulos substituíveis (Baixo – 1) Alguns módulos substituíveis (Moderado – 2) Módulo de grande complexidade ou diversos módulos substituíveis (Alto – 3)
Compartilhável	O mesmo módulo é utilizado em diferentes produtos	Poucos módulos compartilháveis (Baixo – 1) Alguns módulos compartilháveis (Moderado – 2) Módulo de grande complexidade ou diversos módulos compartilháveis (Alto – 4)
Independente	O módulo é desenvolvido por fornecedor, quanto maior a participação do fornecedor no desenvolvimento, maior a independência do módulo	Poucos módulos independentes (Baixo – 1) Alguns módulos independentes (Moderado – 2) Módulo de grande complexidade ou diversos módulos independentes (Alto – 4)

Fonte: desenvolvido pelo autor

Quadro 8 – Classificação dos elementos de modularidade de produção

<b>Elementos</b>	<b>Critérios</b>	<b>Classificação / Pontuação</b>
<b>Terceirização de atividades</b>	Maior parte dos módulos/componentes de primeiro nível:	
	Sub-montagens feito pela montadora	Não significativo - 0
	Entregues montados na fábrica	Baixo - 1
	Entregues montados diretamente na linha de montagem	Moderado - 2
	Montados pelo fornecedor diretamente na linha de montagem	Alto - 4
<b>Tipo de arranjo</b>	Convencional / Distrito	Não significativo - 0
	Parque industrial	Baixo - 1
	Condomínio industrial	Moderado - 2
	Consórcio modular	Alto - 4
<b>Propriedade de ativos</b>	(A): Divisão de custos fixos ou pagamento de aluguel	Baixo - 1
	(A + B)	Moderado - 2
	(A + B + C)	Alto - 4
<b>Gestão de recursos humanos</b>	(D) - Busca, seleção e contratação de colaboradores a cargo dos fornecedores	Baixo - 1
	(D + E)	Moderado - 2
	(D + E + F)	Alto - 4

Fonte: desenvolvido pelo autor. Nota: Significado das letras não explicitadas no quadro: (B) – Custos de instalações, ferramentais e equipamentos por conta dos fornecedores. (C) – Custos com terrenos por conta dos fornecedores. (E) – Política salarial uniforme. (F) – Treinamento de admissão padrão dado pela montadora.

## **6. RESULTADOS - PARTE 2: SELEÇÃO, ANÁLISE E CLASSIFICAÇÃO DO GRAU DE ADOÇÃO DA MODULARIDADE**

Visando identificar o nível de modularidade nos desenvolvimentos de veículos no país e, quando possível, caracterizar aspectos peculiares de cada desenvolvimento, são apresentados nesse capítulo os projetos encontrados na literatura com participação da engenharia brasileira. Os projetos identificados constituem a base para as próximas etapas de análise e de classificação de projetos de veículos, segundo o grau de adoção da modularidade. Neste capítulo, cada projeto de automóvel é avaliado e posteriormente classificado, de acordo com os elementos da literatura apresentados no capítulo 5. São analisados, sempre que possível, os aspectos referentes à “comonalidade”, compatibilidade, independência, “substituibilidade” e divisão da estrutura de produto (número de módulos), no que se diz respeito ao desenvolvimento dos módulos identificados, ou seja, modularidade de projeto. Em relação a modularidade de produção, são observados aspectos relacionados ao tipo de arranjo produtivo, e outros aspectos relativos ao relacionamento entre montadora e fornecedores já descritos no capítulo anterior, como grau de terceirização de tarefas, gerenciamento de recursos humanos, e padrão de propriedade de ativos.

### **6.1 SELEÇÃO DOS PROJETOS DE VEÍCULOS**

Esta seção é dedicada a apresentação de um quadro com os projetos e os módulos encontrados na literatura segundo a divisão da arquitetura de produto de cada projeto selecionado. Os conceitos relativos à arquitetura de produto, modularidade de projeto e de produção já apresentados, juntamente com dados dos desenvolvimentos de produto dos casos selecionados, definem a classificação do grau de adoção da modularidade, com base nos dados disponíveis encontrados.

Os projetos de veículos realizados desde o ano de 2000, identificados na literatura com participação das equipes de desenvolvimento brasileira são apresentados no Quadro 9. Neste quadro também são citados os trabalhos de autores que relatam sobre esses casos, a classificação da estratégia em projeto de produto de cada um segundo a tipologia de Sugiyama e Fujimoto (2000) (vide seção 3.3), e a classificação do nível de competências em desenvolvimento de produto segundo a proposta de Consoni (2004) (vide seção 3.4).

Quadro 9 – Projetos com participação da engenharia brasileira

<b>Empresa/ Projeto</b>	<b>Ano</b>	<b>Fontes</b>	<b>Estratégia</b>	<b>Nível de competências em DP</b>
GM/ Meriva	2002	[1], [2], [4], [7], [8], [10], [12], [14], [18]	B	Derivativo completo
VW/ Fox	2003	[2],[3], [5],[7], [8], [9], [10], [12], [13], [14], [18]	B	Derivativo completo
Fiat/ Palio	2000	[3],[4], [6],[7], [8], [9], [10], [12], [13], [17], [18]	D	Derivativo parcial
GM/ Celta	2000	[3], [4],[7], [9], [10], [12], [18], [19]	D	Derivativo parcial
Ford/ Ecosport	2003	[4],[7], [10], [11], [12], [18]	D	Derivativo parcial
Renault/ Sandero	2007	[8], [11], [12], [20]	D	Não disponível
Peugeot/ Hoggar	2010	[11]	D	Não disponível
GM/Trail blazer	2011	[15]	C <sup>4</sup>	Não disponível
Fiat/Novo Uno	2010	[16]	D	Não disponível

Fontes: [1] Amatucci e Bernardes (2007), [2] Amatucci e Bernardes (2009b), [3] Mello (2006), [4] Consoni e Quadros (2004), [5] Cardoso e Kistman (2008), [6] Toledo *et al.* (2003), [7] Cauchick Miguel (2006), [8] Amatucci (2010), [9] Dias e Salerno (2009), [10] Salerno *et al.* (2009), [11] Ibusuki *et al.* (2012), [12] Quadros e Consoni (2009), [13] Carvalho (2002), [14] Amatucci e Bernardes (2008), [15] Site oficial GM (2011), [16] Santo e Daxbacher (2010), [17] Dias (2003), [18] Consoni (2004), [19] Graziadio (2004), [20] Amatucci e Mariotto (2012).

A pouca disponibilidade de dados dos desenvolvimentos da Peugeot Hoggar, GM Trailblazer e Fiat Novo Uno, determinam a exclusão desses projetos nas etapas seguintes do trabalho, que visam à classificação perante a adoção da modularidade. Destes projetos

<sup>4</sup> Classificação sugerida segundo dados do site oficial da GM disponíveis em [http://media.gm.com/content/media/us/en/gm/news.detail.html/content/Pages/news/us/en/2011/Nov/1110\\_trailblazer](http://media.gm.com/content/media/us/en/gm/news.detail.html/content/Pages/news/us/en/2011/Nov/1110_trailblazer).

mostrados no Quadro 9, buscou-se identificar na literatura os módulos existentes em cada um deles, seguindo a proposta do Quadro 5, onde foram apresentados os módulos típicos da indústria automotiva. No Quadro 10 também são citadas as referências que reportam e confirmam a presença de alguns destes módulos em determinados projetos de veículos.

## 6.2 ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS DOS PROJETOS DE VEÍCULOS SELECIONADOS

Primeiramente, os projetos de automóveis são apresentados individualmente de acordo com suas características principais, diferenças em relação aos demais e também são descritos os elementos da modularidade de produto e de produção. Como já citado, de todos os projetos com participação da engenharia brasileira mostrados no Quadro 9, os projetos da Peugeot Hoggar, GM Trailblazer e Fiat Novo Uno não apresentam um conteúdo que possa sustentar uma análise específica em relação as tipologias da modularidade neste trabalho, pois não apresentam quantidade suficiente de dados sobre estes projetos. Por essa razão, como já mencionado anteriormente, não foram considerados na análise. Ao final da seção é apresentado um quadro classificando as características de cada projeto de veículo, seguindo os critérios apresentados no capítulo anterior.

### 6.2.1 Projeto Fox

Um dos projetos brasileiros com maior participação da engenharia brasileira foi realizado pela subsidiária da VW no país com um alto grau de independência da matriz na Alemanha. O projeto partiu de uma necessidade identificada no mercado, e foi desenvolvido para atendê-la. O sucesso do projeto pode ser medido pela quantidade de vendas dos modelos da marca, que perde apenas para o modelo Gol. Outro aspecto que retrata este sucesso é a decisão da matriz VW em exportar o modelo diante da retirada do VW Lupo de seu portfólio.

O Fox foi originalmente lançado em 3 versões ao consumidor final, com diversas possibilidades de configuração. Uma quarta versão, com apelo *off-road*, foi lançada posteriormente e também um outro modelo, o Spacefox. O carro surgiu com duas opções de motorização (o motor é desenvolvido pela VW e o sub-módulo da injeção eletrônica desenvolvida pelo fornecedor) e que são compartilhados entre diversos outros modelos da marca.

Quadro 10 – Módulos dos projetos de veículos selecionados relatados na literatura

<b>Módulos identificados nos projetos</b>	<b>Projetos</b>					
	<b>Fox</b>	<b>Celta</b>	<b>Meriva</b>	<b>Ecosport</b>	<b>Sandero</b>	<b>Palio</b>
<b>Motor</b>	[3], [8], [6]	[1], [3], [7]	[3], [12]	[3], [10], [14]	[3]	[3], [8]
<b>Assentos</b>	[2], [6], [14]	[1],[3], [7], [9], [14]	[12]	[3], [4], [10], [11]	[3], [10], [14]	[10], [13]
<b>Rodas</b>	[2], [3], [14]	[1], [3], [7], [14]	[3]	[3], [14]	[3], [10], [14]	[3]
<b>Pneus</b>	[2], [3], [14]	[1],[3], [7], [9], [14]	[3]	[3],[4],[10], [11],[14]	[3], [10], [14]	[3]
<b>Portas</b>		[1],[3], [7], [9]		[3], [4], [10], [11]		
<b>Cockpit (painel de instrumentos)</b>	[2], [6]	[1],[5], [7], [9],[14]	[12]	[4], [10], [11], [14]	[10]	[10]
<b>Módulo frontal</b>				[4], [10], [11]		
<b>Eixos (dianteiro / traseiro)</b>	[14]	/ [1], [3], [7], [9]	[12]		[3], [10], [14]	
<b>Para-choques</b>		[1],[3],[14]		[3], [10],[11], [14]		[3], [10]
<b>Painel da porta</b>			[12]		[10]	
<b>Sistema de escape</b>	[14]	[1],[3], [7], [9], [14]		[3], [4], [11], [14]	[10], [14]	[3], [10]
<b>Teto</b>	[6]	[1], [3], [7]		[3], [4]		



Módulos identificados nos projetos	Projetos					
	Fox	Celta	Meriva	Ecosport	Sandero	Palio
<b>Tanque de combustível</b>	[2], [6], [14]	[1], [3], [7], [9], [14]	[12]	[3], [14]		
<b>Vidros</b>	[14]	[1], [3], [7], [9], [14]		[3], [14]		
<b>Sistema de câmbio</b>	[6]	[7]		[10]		
<b>Iluminação</b>	[14]	[1], [3], [7], [9], [14]	[12]	[10], [11], [14]		[13]
<b>Suspensão dianteira</b>	[2], [8]	[1], [3], [7], [9], [14]	[12]	[4], [11], [14]		[5], [8], [10]
<b>Suspensão traseira</b>	[2], [8]	[1], [3], [14]	[12]	[4], [11], [14]		[5], [8], [10]
<b>Linhas de combustível e de freio</b>	[14]	[14]		[14]		
<b>Acabamento interno</b>		[14]		[4], [11], [14]	[14]	
<b>Carroceria</b>	[6]					
<b>Sist. de refrigeração</b>	[14]	[3], [7], [14]	[12]	[14]	[14]	[3], [10], [13]
<b>Fiação-chicotes</b>		[14]		[4], [11]		[13]
<b>Plataformas</b>	[3], [8], [10]	[3], [10]		[3], [10]	[3]	[3], [8], [13]

Fontes: [1] Graziadio (2004), [2] Mello e Marx (2007a), [3] Salerno *et al.* (2009), [4] Sako (2006), [5] Dias e Galina (2000), [6] Cardoso e Kistman (2008), [7] Cauchick Miguel (2006), [8] Dias (2003), [9] Conversani (2008), [10] Salerno e Dias (2002), [11] Cerqueira (2008), [12] Consoni (2004), [13] Toledo *et al.* (2003), [14] Dias e Salerno (1999).

Na VW do Brasil, a estrutura técnica organiza-se em uma matriz mundial onde os engenheiros e a manufatura agrupam-se por partes do veículo (“sets”), subordinando-se a gerentes de “set” locais e aos executivos do “set” correspondente na Alemanha: chassi, acabamento, elétrica, motorização e carroceria. De maneira geral, a VW divide a arquitetura de seus modelos em 11 módulos principais, dentre eles estão módulo frontal, *cockpit*, *powertrain* (denominação utilizada para designar alguns componentes mecânicos inclusive o motor, e que pode ter sub-módulos), portas, tampas e teto, sistema de combustível, carroceria e bancos. No Fox, estão presentes 8 módulos básicos que constituem a “espinha dorsal” deste produto. Módulos como o *front end* (módulo frontal), chicotes e porta, presentes no Polo, foram projetados como componentes em separado, por questão de custo (MELLO; MARX, 2007a); a montadora considerou-os mais baratos entregues separadamente do que em módulos. Isso mostra que mesmo que exista a possibilidade do compartilhamento de módulos entre os modelos, cada projeto pode ser influenciado por decisões estratégicas que direcionem o produto ao seu público-alvo.

Do ponto de vista de “comonalidade”, muitas vezes esses módulos podem ser compartilhados entre diferentes plataformas. Um exemplo típico e comum em qualquer modelo de carro é a utilização do mesmo motor em uma determinada família ou segmento de produtos, neste caso, os motores são compartilhados com Gol, Saveiro, Polo (1.6) e Golf (1.6). A plataforma de desenvolvimento do veículo foi a mesma utilizada pelo Polo (MELLO, MARX, 2007a). O painel de instrumentos (constituente do *cockpit*) foi posteriormente utilizado no Gol G4, mas com adaptações. Rodas e pneus são itens de extrema independência e a sua comunicação com outros modelos depende mais da diferenciação estética do que da compatibilidade em si, por isso nem serão considerados módulos compartilhados entre os modelos. Por ser um projeto de veículo que gerou um derivativo (Spacefox), grande quantidade de módulos são compartilhados.

No que reflete a independência dos módulos, pode-se ressaltar que alguns dos módulos mais simples do Fox tiveram seu desenvolvimento integralmente externalizado para fornecedores. O módulo do banco teve projetos da VW, incluindo fase de desenvolvimento e conceito de componentes, mas seus componentes foram realizados por fornecedores, como é o exemplo da estrutura metálica do banco, no qual a VW apresentou ao fornecedor um livro de instruções de trabalho, que contém as especificações de interface e parâmetros de desempenho para a peça e o fornecedor desenvolveu a

própria peça. Este modelo de desenvolvimento de produto é categorizado como *black box* (MELLO, MARX, 2007a).

O módulo de *cockpit* tem diversos modelos assegurando certa “substituibilidade” a este módulo. Seus principais componentes como painel de instrumentos, pedais e coluna de direção foram desenvolvidos em co-design com fornecedores, outros componentes como a entrada de ar foram do tipo *black box*. Tanto no módulo do *cockpit* quanto do banco, não houve participação dos fornecedores nas especificações de interface do módulo em geral, que é realizada pela VW. A participação dos fornecedores no projeto se deu de forma variada nos componentes dos módulos. Em relação à quantidade de módulos relatadas na literatura em relação ao projeto do Fox, foram identificados 19 módulos que, segundo a maneira como são analisados os projetos de veículos neste trabalho, retratam a divisão da estrutura do produto.

Sob o ponto de vista da modularidade de produção, seu arranjo em condomínio industrial possui certa evolução em direção a um consórcio. Basicamente, o planejamento da fábrica prevê o envio dos módulos, através de seus nove sistemistas, que estão no próprio pátio da empresa, para áreas próximas ao posto de trabalho na linha de montagem. O *layout* de produção em Y invertido e a proximidade com os parceiros localizados em um trajeto de cerca de 800 metros facilita a produção. A partir daí, a Volkswagen controla o sequenciamento, a sincronização e a montagem. O *cockpit* é entregue como módulo diretamente na linha de montagem, sendo que na fábrica de São José dos Pinhais no estado do Paraná (inaugurada em 1999 onde o Fox é produzido) é montado e entregue por um fornecedor localizado dentro da planta.

A fábrica de São José dos Pinhais é uma das poucas do país em que a responsabilidade pela estamparia não foi passada aos fornecedores e é realizada internamente pela própria VW. A propriedade foi construída pela montadora, mas cada fornecedor instalado dentro do condomínio teve que investir nas suas próprias instalações internas e pagam aluguel à VW.

## 6.2.2 Projeto Celta

O denominado *Blue Macaw Project* (Projeto Arara Azul) foi responsável não só pelo lançamento de um novo modelo da GM co-desenvolvido pela GM Brasil e direcionado a um mercado emergente, mas também pela construção de uma nova unidade fabril da empresa, o complexo de Gravataí-RS. Iniciado em 1996, com o objetivo de

desenvolver um carro pequeno, sub-compacto, com uma arquitetura de produto modular baseada na plataforma do Corsa (um carro-base, com apenas uma pequena variedade de opções), o projeto *Blue Macaw* incluía a total participação dos fornecedores, que iriam atuar conjuntamente no design, nos testes e na coabitação.

Neste condomínio industrial planejado pela GM, os fornecedores compraram seu próprio terreno e construíram sua fábrica separadamente. A produção do Celta começou em 2000 com 16 sistemistas, o governo vendeu lote por lote para a GM e os seus fornecedores, por um valor subsidiado. Posteriormente, cada empresa construiu seu próprio edifício e adquiriu suas próprias máquinas e equipamentos. Este modelo de divisão dos custos influencia na origem do nome do projeto, em referência as araras azuis que uma vez instaladas permanecem no mesmo local por um longo tempo, pois há de se pensar que poucas empresas fariam tal investimento para se mudar em pouco tempo. As empresas dividem também os custos fixos e de serviços comuns, os rateios no condomínio são feitos conforme a área de cada sistemista. Por força contratual, os fornecedores são proibidos de produzirem para outros fabricantes de automóveis a partir da fábrica de Gravataí. Estes fornecedores entregam módulos completos *just in time* na linha de montagem final dos veículos, sendo que a montagem final dos veículos está sob responsabilidade da montadora, que consegue montar até 5 módulos de forma simultânea, motor, transmissão, eixo traseiro, sistema de escape e combustível.

A porcentagem dos empregados da montadora em relação ao total de empregados no local da montagem tenta traduzir a extensão da terceirização de tarefas. Na planta da GM em Gravataí, esse número chega a 69,6% de empregados que estão na linha são pagos pela montadora. Esta planta possui um sistema uniforme de política salarial, mas não há um controle total da gestão e treinamento de recursos humanos, sendo os treinamentos feitos de forma descentralizada, por cada empresa do condomínio.

A engenharia da GMB é organizada por partes do veículo – SMTs (*System Management Teams*). São vários SMTs na GMB: motor, *powertrain* (transmissão e outros itens), chassi, carroceria entre outros. Em cada time, parte da estrutura é especificamente voltada ao mercado interno e parte para atender a corporação mundial na resolução de problemas de adaptação para mercados internacionais. Em relação a modularidade de projeto, foram identificados 21 possíveis módulos em sua arquitetura de produto.

Assim como no Fox, o motor é desenvolvido pela montadora e compartilhado com outros modelos da marca como, Corsa, Classic, Prisma e Montana. A “comonalidade” de peças com outras plataformas chega a 70%, pois sua arquitetura de produto é a mesma que do antigo Corsa, com apenas algumas adaptações; o módulo de carroceria é o mesmo. De maneira geral o projeto não tinha muitas opções de configuração, que inclusive eram feitas nas concessionárias e não na fábrica, indicando baixa “substituibilidade” dos módulos.

O projeto do módulo do *cockpit* foi desenvolvido no Brasil em parceria com a fornecedora VDO, sendo o único identificado com uma maior independência. Este módulo não é compartilhado com a plataforma do Corsa. A VDO foi responsável por grande parte do projeto, desde a fase de concepção e planejamento do ferramental, gerenciando 40 fornecedores do nível 2 que fornecem cerca de 110 componentes para a montagem do módulo.

Outro módulo que poderia ter sido projetado em parceria com fornecedores é o da suspensão dianteira, mas nos testes finais o projeto foi reprovado e a GM utilizou a mesma suspensão do Corsa. Em ambos os casos, a GM define as especificações de interface as quais não abre mão.

### 6.2.3 Projeto Meriva

Outro projeto com grande participação da engenharia brasileira é o do carro Meriva. Lançado em 2002, o projeto de arquitetura desse veículo contou com 13 módulos identificados, quantidade inferior do identificado no projeto do Celta da própria GM (21 módulos) e também do Fox (19 módulos), que também é classificado como um derivativo completo. O projeto conta com a “comonalidade” de peças do Corsa e do Astra já que foi projetado a partir de uma plataforma híbrida desses modelos. Dentre o compartilhamento de módulos com o Corsa estão a motorização, suspensão dianteira e eixo dianteiro. Com o Astra, compartilha suspensão traseira e eixo traseiro. Os demais módulos não são compartilhados, como o painel de instrumentos, painel de portas e sistema de bancos, esse foi desenvolvido pelo fornecedor a pedido da GM e contou com inovações.

O veículo conta com apenas 55% de peças comunizadas entre as outras plataformas quando, em média, as versões derivativas apresentam um índice entre 70% e 80%. Do restante dos novos módulos que foram desenvolvidos, a sua maioria teve cooperação (*codesign*) de seus fornecedores, como o módulo de bancos. Porém, não foi

identificado nenhum módulo totalmente externalizado para o fornecedor, o que caracterizou certa dependência entre montadora e fornecedor no desenvolvimento dos módulos.

Em relação a “substituibilidade”, assim como no Celta, pode-se ressaltar a falta de configurações possíveis entre seus módulos. Por muito tempo, o carro teve apenas uma opção de motorização, e até mesmo uma única versão, fato bastante incomum no mercado brasileiro. Dois anos após o seu lançamento surgiram 3 novas versões, com diferentes pacotes de acabamento, etc. A falta de reestilização dos dois modelos da GM analisados indicam uma certa dependência nos módulos do projeto, já que ambos permanecem com a mesma aparência por mais de 10 anos.

Do ponto de vista da modularidade de produção não foram identificadas maiores características sobre a unidade fabril de São José dos Campos (SP) em que o Meriva é montado. Inaugurada em 1959, a planta funciona basicamente em um sistema convencional de produção. Em São José dos Campos, muitos dos principais fornecedores estão em até cerca de 100km de distância da GM, em cidades vizinhas, e poucos módulos chegam prontos a linha de montagem final, nos arredores da fábrica estão localizados apenas os fornecedores de bancos (Lier) e estampados (Gestamp). Adicionalmente ao que foi verificado na literatura, outras informações foram obtidas através de um questionário respondido por um colaborador da empresa (vide Apêndice A). A planta responsável pela montagem do Meriva, não possui nenhum auxílio dos fornecedores na montagem final. Assim como ela só controla os módulos junto aos fornecedores em caso de problemas nos mesmos. Para isso, ela envia os SQE (*Supply Quality Engineer*) em um momento inicial. Os únicos terceiros na planta são parceiros relacionados com serviços como por exemplo: segurança patrimonial e atendimento (Engeseg), transporte de veículos (Brasul), transporte interno de funcionários (Breda) e verificação das peças oriundas do fornecedor, que é realizado no CQPC (Controle da Qualidade das Peças Compradas), através da empresa OQL.

Comparativamente a planta onde é fabricado o Celta, que possui menos de 20 fornecedores diretos, esta planta conta com cerca de 300 a 400 em sua base de fornecedores diretos, evidentemente a montadora não possui participação na gestão de recursos humanos e tampouco na propriedade de ativos de nenhum fornecedor. Por serem plantas da mesma empresa pode-se dizer que a GM teria o *know-how* suficiente para fazer sua fabricação em São José dos Campos de forma semelhante

a que já faz na unidade de Gravataí, o que indica a dificuldade de modernização de uma planta convencional para um arranjo modular.

#### 6.2.4 Projeto Ecosport

O projeto *Amazon* da Ford previa a instalação de uma nova fábrica na cidade de Guaíba (RS), mas devido a mudanças políticas, a fábrica foi inaugurada em 12 de outubro de 2001 em Camaçari, na Bahia. O Complexo Industrial Ford Nordeste (CIFN) representou um investimento da ordem de US\$ 1,9 bilhão, o maior da empresa em âmbito mundial.

Assim como o condomínio industrial da GM em Gravataí, o complexo da Ford recebe módulos completos *just in time*, o seu sistema de produção modular sequenciada, ainda confere operações *just in sequence*, fazendo com que a Ford receba módulos na hora certa e na sequência correta na linha montagem final, que está sob responsabilidade da montadora. Ao contrário do modelo de condomínio industrial operado pela GM em Gravataí, a Ford de Camaçari é proprietária do terreno e das edificações usadas pelos fornecedores. O investimento e propriedade são da Ford, as instalações físicas (prédios, galpões) são cedidas e compartilhadas com os sistemistas que investiram na aquisição de seu maquinário, ferramentas e equipamentos.

Neste modelo de operação, a montadora não está apenas firmando contratos de fornecimento, mas também compartilhando os investimentos necessários com seus parceiros e, sobretudo, dividindo os riscos do empreendimento. Assim, “... torna-se mais fácil descontinuar o projeto e reiniciá-lo em qualquer outra parte do mundo, caso as condições locais não permaneçam favoráveis” (TEIXEIRA; VASCONCELOS, 1999, p. 21). Essa possibilidade é também salientada como uma estratégia de “minimização das barreiras a saída” (LUNG, 2000).

A Ford de Camaçari conta com 33 parceiros, fornecedores de peças, componentes e módulos diretamente na linha de montagem. Destes, 8 fornecedores estão instalados nos arredores da fábrica no município de Camaçari, ou em outros municípios do estado da Bahia, como as cidades de Dias D’Avila e Feira de Santana. Dentre os 25 fornecedores restantes instalados dentro do Complexo, 4 atuam na prestação de serviços (manutenção, logística e desenvolvimento de produto) e 21 atuam no primeiro nível da cadeia de fornecimento de peças, sendo que 11 estão na área de montagem final, sob o mesmo teto. Eles são a Faurecia (módulo de portas), a Visteon (*cockpit*), a Pelzer

(acabamento interno), a Interfirm (teto), a Lear (bancos), a Mapri-Textron (fechos-módulos de fixação), a Valeo (módulo frontal), a Benteler (suspensão), a Arvin Meritor (sistema de escape), a Cooper (fiacção, mangueiras e tubos de conexão), e a Pirelli (montagem de pneus).

Apesar de estarem sobre o mesmo teto, os fornecedores não são responsáveis pelo encaixe de seus módulos na linha de montagem final, mas alguns deles mantêm um funcionário de controle de qualidade no ponto de encaixe; diferentemente da fábrica de caminhões da VW em Resende, a Ford mantém controle sobre o processo final de montagem. O percentual de empregados da montadora sobre o total de empregados é de 43,5%, não há a integração radical de Resende, mas não há a separação entre montadora e fornecedores da GM como em Gravataí. Os custos do condomínio, inclusive manutenção e logística, são divididos entre a Ford e os sistemistas.

No que se diz respeito a natureza dos recursos humanos e das relações entre gerência e trabalhadores, a Ford apresenta uma densidade das relações sociais entre fornecedores e empregados mais consistente do que em Gravataí. Assim como acontece na GM na fabricação do Celta, a Ford apresenta a mesma política salarial para os fornecedores onde todos os empregados do complexo estão sobre um mesmo sistema de recursos humanos. O controle mais rígido sobre o estabelecimento de um sistema uniforme de recursos humanos é evidenciado a partir da uniformidade de treinamento para todos os empregados, incluindo os fornecedores, fato esse não atingido pela GM em Gravataí, que ao tentar, se viu obrigada a descentralizar o treinamento em seu complexo devido a reclamações dos fornecedores.

Com relação a modularidade de projeto, o Ecosport foi lançado em 2003 utilizando a arquitetura de produto da Ford de 19 módulos principais. Foram identificados no veículo um total de 21 módulos, o maior partição de uma arquitetura de produto registrado no presente trabalho (juntamente com o Celta). Muitos módulos são compartilhados com o Fiesta e outros, como o tanque e portas, são exclusivos para o modelo. Inicialmente com 3 tipos de motorização, dos quais 2 eram compartilhados com o Fiesta, o Ecosport possuiu muitas versões diferentes. Em relação a independência no projeto dos módulos não foram identificados dados que possam comprovar alguma externalização de desenvolvimento em direção aos fornecedores, apesar de outros trabalhos relatarem uma política intensa de externalização do desenvolvimento de módulos e componentes na Ford em geral (GRAZIADIO, 2004; MELLO; MARX, 2007a e 2007b).



### 6.2.5 Projeto Palio

A fábrica da Fiat instalada em Betim (MG) iniciou suas atividades em 1973, sendo a segunda fábrica mais antiga analisada neste trabalho. No final da década de 90, a fábrica recebeu inúmeros projetos de investimento para se adequar a um sistema mais moderno de produção, trazendo fornecedores para o seu entorno, fortalecendo sua rede de fornecimento e a implantação do sistema *just in time*, com o abastecimento de componentes direto na linha de montagem em um intervalo de uma a duas horas a partir da solicitação da Fiat.

A implantação de inúmeras novas fábricas no estado de Minas Gerais, em um processo chamado de “mineirização”, coincidiu com a vinda de muitas indústrias de autopeças devido a fábrica da Fiat que, em sua maioria, estão localizadas em um raio de até 100 quilômetros de Betim. Este processo se solidificou pelo amplo apoio do governo e bancos de desenvolvimento locais, cedendo terrenos e estruturas para as empresas não só no entorno da fábrica da Fiat, como também direcionando para cidades vizinhas e para o sul do estado, devido a proximidade com São Paulo. Estima-se que mais da metade dessas fábricas de auto-peças são fornecedoras da Fiat.

No final da década de 90, a Fiat passou por um processo intensivo de terceirização e de corte em sua lista de fornecedores, adotando definitivamente a prática de poucos e fortes fornecedores de primeira linha em seu esquema logístico. A comunicação entre a montadora e os demais fornecedores é feita instantaneamente e simultaneamente através de uma conexão dedicada via internet (chamada EDI-Envia). Os fornecedores possuem um plano pré-estabelecido pela Fiat com informações sobre o mínimo de peças suficientes que devem estar disponibilizadas na linha de produção para preparar as cargas a serem despachadas até a montadora.

Os investimentos feitos na fábrica garantiram que sua nova “modelagem” do arranjo produtivo seja considerado um condomínio industrial, com 7 fornecedores sistematizados, mas ainda assim esta planta não apresenta o mesmo nível de terceirização de atividades como a VW no caso Fox e a GM onde é fabricado o Celta, e muito menos a Ford de Camaçari, ficando a um patamar um pouco abaixo que dessas fábricas.

Em Betim, a Fiat tem também outra fábrica exclusiva para a produção de motores, que inclusive são desenvolvidos pela própria empresa. Outro módulo que a companhia tem grande *expertise* em desenvolvimento são as suspensões. Dos demais módulos resultantes da sua divisão de arquitetura de produto (13 módulos no total), há

participação de fornecedores de alguns módulos em *codesign* com a montadora e outros em que a montadora elabora o projeto com todas as especificações e os fornecedores produzem.

Dos fornecedores com maior envolvimento no projeto, sendo incluídos nas fases iniciais, estão os responsáveis pelos módulos de iluminação, assentos e sistema de refrigeração, sendo esses projetos considerados do tipo *black-box*, apesar de relatos da falta de especificações feita pela montadora nestes casos. O projeto do Palio tem muitos módulos em “comonalidade” com o modelo do Siena, como o painel de instrumentos, para-choque, iluminação e também compartilha do sistema de escape do Uno e motor com diversos veículos da marca. O Palio é um dos carros com o maior número de opções de configurações possíveis dos projetos analisados no presente trabalho. Apesar de não ter sido possível quantificar essa variedade de configurações, pode-se ter como base o projeto do Novo Uno, também da Fiat, que possui centenas de opções de configurações (e.g. SANTO; DAXBACHER. 2010), o que sugere que essa seja uma decisão estratégica da empresa, principalmente no desenvolvimento de carros populares.

### 6.2.6 Projeto Sandero

O projeto Sandero com participação brasileira da equipe de engenharia da Renault, foi lançado com 3 motorizações diferentes, e originou uma versão com apelo *off-road*. Assim como os outros projetos analisados destinados a mercados emergentes, como o Palio, o Fox e o Celta este modelo tinha opção de 2 ou 4 portas.

Os registros da participação brasileira no desenvolvimento deste veículo são limitados. Basicamente, as diferenciações do projeto para o mercado local ocorreu na suspensão, em função das estradas, a motorização (motor *flex*), e o desenho das maçanetas também teve que ser alterado. De aproximadamente 3.000 peças que constituem o veículo, 80% são feitas por fornecedores; um grupo de engenharia da Renault trabalha associado aos fornecedores no desenvolvimento do painel, comando, assoalho etc.

A plataforma do Logan é compartilhada para a produção do Sandero, assim como a base mecânica. As 3 opções de motorização são compartilhadas com o Clio, Logan, a versão 1.6 16V é compartilhada com Symbol, Megane, Kangoo. Foram identificados 12 módulos na arquitetura deste produto. A fábrica possui 8 fornecedores instalados no condomínio industrial (banco, escape, coluna de direção, *cockpit*,

suspensão dianteira, eixo traseiro, pneus e mais um de logística e um de manutenção).

A fábrica inaugurada em 4 de dezembro de 1998 em São José dos Pinhais no Paraná pode ser caracterizada como um condomínio industrial. Para atrair a montadora, o governo local cedeu incentivos, doou o terreno, fez benfeitorias e obras estruturais na localidade, concedeu desconto em energia elétrica, isenção de IPTU (Imposto Predial e Territorial Urbano) e ISS (Imposto Sobre Serviços de qualquer natureza). A fábrica foi construída pela montadora, mas cada modulista teve que investir nas suas próprias instalações internas. Posteriormente, a Renault realizou parceria com a Nissan, onde realizam a produção de seus modelos.

### 6.3 CLASSIFICAÇÃO DOS QUESITOS ANALISADOS

Diante do exposto no presente trabalho em relação a arquitetura de produto, fica claro nos projetos desenvolvidos pelas subsidiárias brasileiras que, em alguns módulos, a empresa não abre mão de desenvolver e produzir para o mercado brasileiro, ou seja, aqueles considerados *core competencies* e que é indesejável que esse conhecimento seja externalizado. É comum a todas montadoras a competência em desenvolver motores (1.0 turbo na VW, Supercharger na Ford, VHC Flex na GM e tetrafuel da Fiat, Flex Renault) (CAUCHICK MIGUEL, 2006), devido à necessidade de motores de menor propulsão no mercado brasileiro em comparação ao restante do mundo, dado que, em sua maioria, os projetos aqui desenvolvidos são direcionados a mercados emergentes e consequentemente devem ter menor custo. Outra competência comum, provavelmente herança da época das adaptações e das tropicalizações para o mercado brasileiro é a relação com a capacidade de desenvolvimento de suspensões (Palio e Sandero), normalmente mais rígidas e resistentes para suportar as condições de rodagem das estradas locais.

Em relação a independência dos projetos de módulo, ou seja, a participação dos fornecedores no desenvolvimento, percebeu-se parcerias principalmente no projeto de bancos (Fox, Meriva, Palio) e *cockpits* (Fox, Celta). No caso Sandero, dados mostram que 80% das peças têm participação dos fornecedores (RENAULT, 2010), mas não há informações suficientes de como ocorre essa participação. Não houve disponibilidade de dados nesse sentido em relação ao Ford Ecosport. No caso Palio, observou-se ainda uma maior participação de fornecedores no desenvolvimento dos módulos, que projetaram ainda o sistema de

refrigeração e de iluminação, elevando este caso em um patamar a mais que os demais, classificando-o como “moderado”.

A partir do momento da decisão de externalização no desenvolvimento de módulos para fornecedores, percebe-se que aspectos como o alto grau de especificação das interfaces e da independência dos módulos estão presentes. Porém, as montadoras não se mostram confortáveis em compartilhar essas informações, principalmente em módulos com muito valor agregado, como o motor, bancos e o *cockpit*, fazendo com que deleguem o desenvolvimento apenas de sub-módulos e não de um projeto por inteiro.

Por darem certa diferenciação aos produtos, alguns dos projetos de módulos são destinados exclusivamente a um modelo de veículo, caso do sistema dos bancos do Fox e Meriva, e do *cockpit* do Celta e do Meriva. Este último tem também um módulo de painel de portas exclusivo. No caso do Ecosport, tanque e portas são exclusivos. Todos os projetos de veículos analisados no presente trabalho compartilham motores com outros veículos da família de produtos das respectivas marcas, e também dividem uma quantidade significativa de módulos e componentes com um derivativo ou outro modelo da marca e, na maioria das vezes, compartilham a mesma plataforma. Além disso, o Fox compartilha o *cockpit* com o Gol G4 e o Palio o sistema de escape do Uno. O destaque negativo é o Meriva, que além dos módulos exclusivos já citados, possui baixa comunicação de peças com outras plataformas (55%).

Módulos como pneus e rodas, uma vez definidas as especificações de compatibilidade, são módulos exemplares de alto grau de independência, “comonalidade”, se assim for desejada, e alta “substituibilidade”, por isso estes módulos também não apresentam nenhum aspecto relevante que possa causar grande diferenciação entre os projetos, assim como também são os motores em certo grau.

A partir daí, as características dos projetos dos veículos selecionados apresentam inúmeras diferenças, tanto em quantidade (número de funções) como nos demais elementos. Dos 26 módulos tipicamente encontrados na indústria automotiva listados no Quadro 5, aproximadamente 80% foram relatados por algum autor nos projetos do Fox, Celta e Ecosport, mostrando uma alta divisão da arquitetura do produto, enquanto que nos demais projetos esse número ficou em torno de 50%.

Em relação a disponibilidade de opções para um mesmo módulo (“substituibilidade”), em todos os modelos “populares” havia a opção de configuração em 2 ou 4 portas, em relação ao módulo de carroceria. O

projeto do Fox, Ecosport, Sandero e Palio, conferiam algumas opções para um mesmo módulo. Nos três primeiros casos possuíam um *kit* diferenciado de para-choques, rodas e suspensão que geravam um apelo *off-road*, acabamentos diferenciados no caso do Palio, diferentes opções de motorização etc. No caso do Meriva e do Celta isso não acontece. Especificamente no caso do Celta identificou-se que opções de configuração diferenciadas eram feitas já nas concessionárias, o que não obrigava a fabricação e montagem de módulos substituíveis na planta de Gravataí. Já no caso do Meriva, talvez o segmento em que está inserido já não exige grandes mudanças de configuração, pois sua versão básica já possui muitas funções. Nestes casos só resta saber se essa definição (menos opções de configuração) é uma estratégia da GM ou uma deficiência de projeto, o que não foi possível identificar no presente trabalho. Dadas as informações existentes, esses dois projetos de veículos foram classificados com baixa “substituibilidade” e os demais foram classificados como “moderado”.

Em relação à compatibilidade, mais facilmente verificável na modularidade seccional (móveis, Lego® etc.), a falta de informações a respeito desse elemento impede uma análise mais elaborada. Mas a análise da literatura indica que, no caso do Celta, a possibilidade de acrescentar módulos e componentes já nas concessionárias sugere que exista uma “pré-compatibilidade” de projeto que possibilite tal feito, de forma que não seja moroso, onerando a rede de concessionárias da marca. No Palio, praticamente todos os módulos são combináveis, não existindo “kits” de módulos na configuração do produto (algumas marcas vendem diversos módulos de maneira conjunta, os chamados “kits” ou “pacotes” de opcionais), além de possibilitar uma gama maior de configurações possíveis, de certa maneira pode-se afirmar que a interface entre os módulos tem alto grau de padronização para que possam ser combinados um a um. Nos demais projetos estes aspectos não foram identificados.

Para análise da modularidade de produção, o arranjo produtivo das plantas foi o principal fator de associação ao grau de modularidade adotado em cada empresa. Nesse aspecto, pode-se dizer que, pela forma como estão instaladas as empresas fornecedoras em relação a montadora, o condomínio da Ford é o que mais se aproxima de um consórcio modular, com fornecedores dentro do mesmo prédio da empresa e com funcionários dos fornecedores dando suporte na linha de montagem. De maneira semelhante estão a Volkswagen e a GM de Gravataí, onde é produzido o Celta. Em seguida, a fábrica da Renault foi classificada como “moderada” e, de forma parecida está o arranjo da

Fiat. Bem abaixo das demais está o arranjo da GM em São José dos Campos.

De maneira geral, a terceirização das tarefas está organizada de maneira muito próxima pelas montadoras. As fábricas analisadas não chegam ao alto nível de terceirização de atividades da VW em Resende, mas os fornecedores estão localizados próximos a montadora, dividem os custos de estrutura (por vezes até pagam aluguel) e gerenciam parte da cadeia de fornecedores (os níveis mais baixos). A exceção é a GM de São José dos Campos, onde o Meriva é produzido, com um baixo nível de terceirização de atividades.

Analisando a propriedade de ativos, a GM de Gravataí leva vantagem sobre as demais plantas. Com os fornecedores arcando os custos do terreno, prédios e equipamentos; é notória a economia do investimento feita pela montadora na instalação desse novo complexo fabril (economia de 2/3 segundo dados não oficiais segundo SALERNO, 2001). Nos demais casos, o investimento feito pela montadora inclui terrenos e prédios, quando localizados na mesma propriedade. No caso da fábrica da GM em São José dos Campos, apesar de não existirem esses custos (terrenos e fábricas), quando há mudança dos modelos, a própria montadora é quem arca com o novo ferramental. Nessa análise, uma menor propriedade de ativos indica um alto grau de modularidade, por exemplo, a GM de Gravataí, é mais modular do que as outras fábricas (propriedade de ativos moderada).

Em relação à gestão dos recursos humanos, a Ford realiza treinamentos-padrão para todos os funcionários incluindo dos fornecedores, e apresenta relações sociais mais consistentes que na GM de Gravataí (SAKO, 2006); os treinamentos são realizados de forma descentralizada em Gravataí, cada fornecedor é responsável pelo seu treinamento. Os condomínios industriais onde são produzidos a Ecosport e o Celta apresentam uma política salarial uniforme juntamente com o dos fornecedores. Não foram obtidos dados neste quesito sobre as demais plantas.

A classificação de todos os elementos em modularidade de projeto e de produção são apresentadas de forma resumida no Quadro 11.

Quadro 11 – Grau de modularidade dos elementos analisados nos projetos selecionados

Elementos da modularidade		Projetos					
		Fox	Celta	Meriva	Ecosport	Sandero	Palio
Modularidade de projeto	Compatibilidade	N.d.	Moderado	N.d.	N.d.	N.d.	Alto
	Independência	Baixo	Baixo	Baixo	N.d.	Baixo	Moderado
	“Substituibilidade	Moderado	Baixo	Baixo	Moderado	Moderado	Moderado
	“Comonalidade”	Moderado	Moderado	Baixo	Moderado	Moderado	Moderado
	Funções	Até 19 módulos	Até 21 módulos	Até 13 módulos	Até 21 módulos	Até 12 módulos	Até 13 módulos
Modularidade de produção	Tipo de arranjo	Condomínio industrial avançado	Condomínio industrial com avanços	Convencional	Condomínio industrial avançado	Condomínio industrial	Condomínio industrial iniciante
	Terceirização das atividades	Moderado	Moderado	Baixo	Moderado	Moderado	Moderado
	Propriedade de ativos	Moderado	Alto	Baixo	Moderado	Moderado	Moderado
	Gestão de RH	N.d.	Moderado	Baixo	Alto	N.d.	N.d.

Fonte: desenvolvido pelo autor. Obs: Foram classificados como “baixo” os quesitos dos projetos de veículos que não apresentaram características modulares que se diferenciassse dos demais. Foram classificados como “moderado” os quesitos dos projetos com algumas características mais modulares que os demais, e como “alto” os projetos de veículos com diversas características em modularidade, de acordo com as definições dos elementos adotadas no capítulo 5.

## 6.4 CLASSIFICAÇÃO DOS PROJETOS

Para ilustrar de maneira mais clara a análise e classificação realizada nas seções anteriores, é elaborada uma matriz que possibilita visualizar a classificação de cada um desses projetos segundo o grau de adoção de modularidade que pode ser vista na Figura 9.

Os dados qualitativos apresentados no Quadro 11, foram “transferidos” para a matriz com base nos princípios do desdobramento da função qualidade (QFD) conferindo pontuações de 1, 2 ou 4, de acordo com a classificação obtida em cada item do Quadro 11. A pontuação utilizada para posicionar os projetos de veículos na matriz da Figura 9 foi ponderada. Em alguns casos não havia dados disponíveis que permitissem classificar determinado projeto em algum elemento da modularidade.

A pontuação obtida por cada projeto de veículos em cada quesito analisado em modularidade de projeto e produção, por meio das classificações utilizadas no Quadro 11, foi somada, obtendo dois valores totais. O valor total obtido em modularidade de produção é resultante das classificações de cada projeto analisado obtidas nos seguintes quesitos: tipo de arranjo (peso dobrado), terceirização de atividades, propriedade de ativos e gestão de recursos humanos, apresentadas no Quadro 11. Este total dividido pela máxima pontuação possível nos quesitos analisados possibilitou posicionar cada projeto de veículo de acordo com o seu valor obtido, no eixo y da matriz mostrada na Figura 9. Quando algum quesito, tanto em modularidade de produção ou modularidade de projeto, não pode ser classificado por indisponibilidade de dados ou dados insuficientes a pontuação total obtida nos demais quesitos analisados, foi dividida apenas pela pontuação máxima possível dos quesitos que realmente foram analisados e classificados (média ponderada) segundo a classificação do Quadro 11. Para posicionar os projetos de veículos no eixo x da matriz, em modularidade de projeto, foram totalizados os valores obtidos na classificação dos quesitos compatibilidade, independência, “substituibilidade”, “comonalidade” e funções. Maiores detalhes sobre a maneira como foi feita a transformação do Quadro 11 para a ilustração mostrada a seguir podem ser obtidas através do Apêndice B do trabalho, que mostra a pontuação auferida em cada elemento da modularidade em todos os projetos analisados.

É importante comentar que o resultado mostrado na matriz não é uma quantificação precisa dos pontos comentados no trabalho, mas sim



uma tentativa de posicionar os projetos selecionados de acordo com o grau de modularidade.

## 6.5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para iniciar a discussão dos resultados vale trazer as informações da Figura 9 que mostram que dos projetos de veículos analisados sob a perspectiva de modularidade de projeto quatro ficaram na região classificada como modular, são eles: Ecosport, Palio, Fox e Celta. Três foram os casos que se sobressaíram na adoção da modularidade de produção: Ecosport, Fox e Celta, respectivamente.

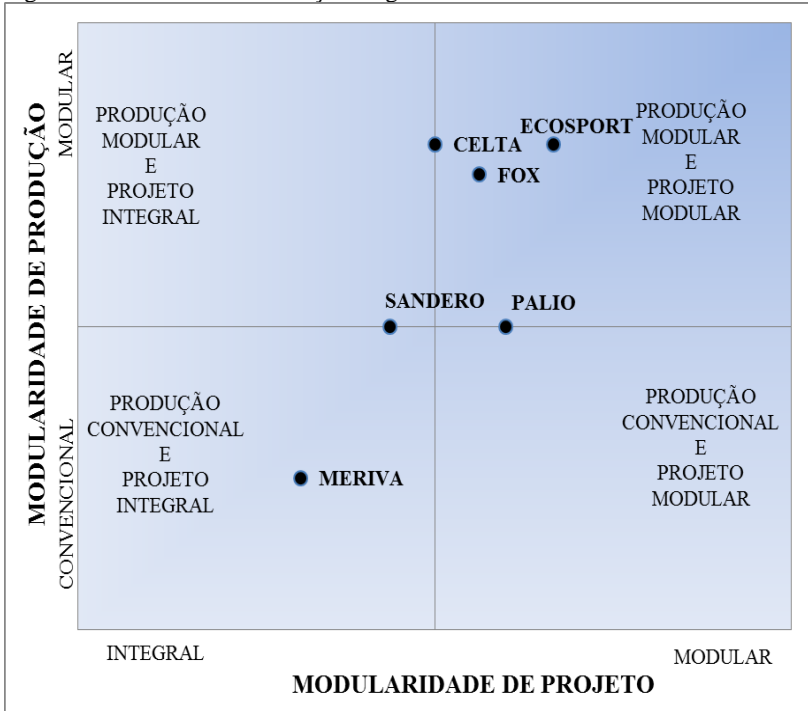
Inicia-se a reflexão sobre este estudo a partir da afirmativa de Persson (2007) que todo produto é modular de alguma maneira podemos afirmar que a modularidade de produção, de forma independente, tem muito em si, uma questão de organização da produção. Ou seja, ela pode surgir através da análise física estrutural de um produto, para que seja produzida de forma que facilite a fabricação, semelhante ao exemplo do “relojoeiro Hora”. Mas somente os aspectos relacionados a terceirização de atividades, propriedade de ativos e gestão de recursos humanos em um sistema modular de produção pode conduzir para um ponto extremo dessa tipologia de modularidade, além da organização da produção.

O retrato disso é o caso Palio, onde a fábrica da Fiat que, mesmo com os investimentos realizados para torná-la uma fábrica modular, foi classificada em uma posição de transição entre uma fábrica convencional e modular em modularidade de produção. Ou seja, não basta posicionar fornecedores em regiões próximas para que se tenha efetivamente um sistema modular de produção. Os casos analisados que são produzidos em fábricas mais antigas ficaram posicionadas na parte de baixo da matriz em relação as demais, com menor nível de modularidade de produção. Isso pode ser associado a dificuldade de adaptar antigas fábricas a um arranjo modular, devido as limitações de alteração de *layout* e de espaço para facilitar o acesso de fornecedores.

Em linha com este pensamento, o estudo de Sako (2006) vai mais além e afirma inclusive que a arquitetura de produto modular está, de fato, associada a uma maior terceirização de tarefas, demonstrada através de casos empíricos realizados na VW (Resende), GM, e Ford. No entanto, resta saber qual a relação que existe entre as duas tipologias estudadas no trabalho. A importância dos demais quesitos analisados em modularidade de produção pode ser visto através da classificação mostrada no Quadro 11, onde os casos do Ecosport e do Celta tiveram

um destaque na classificação de outros quesitos além do tipo de arranjo produtivo.

Figura 9 – Matriz de classificação do grau de modularidade



Fonte: o princípio da matriz foi desenvolvido por Paulo A. Cauchick Miguel juntamente com Juliana Mikkola da Copenhagen Business School na Dinamarca (ainda não publicado).

A questão de dispersão das plantas para outros municípios, tratada pela literatura, deve-se também à política das montadoras de conseguirem algumas vantagens, oferecidas pelos governos locais, em forma de incentivos como isenção fiscal, doação ou parcelamento do investimento em terrenos, estes, por sua vez, possibilitam inclusive a instalação da cadeia de fornecedores, que em alguns casos dividem o investimento e impactam diretamente na análise da propriedade de ativos.

A propriedade de ativos gera um ponto de discussão importante no trabalho; há de se pensar que uma maior terceirização dos ativos pode diminuir a capacidade de gestão da montadora, que é um dos focos

da modularidade, ou seja, nesse aspecto a intenção é terceirizar de forma que a montadora mantenha certo controle e atue apenas na gestão dos processos, concentrando sua atenção em clientes ou em projetos. Com a terceirização dos ativos, apesar da divisão dos riscos de investimento, é possível perceber a maior dificuldade em gerir o RH dessas empresas, já que toda estrutura pertence ao próprio fornecedor (vide caso de Gravataí). Outro empecilho que pode ocorrer é que caso haja uma insatisfação pela qualidade do serviço ou do produto do fornecedor, no modelo em que o ativo (terreno e fábrica) é pertencente a montadora, facilitaria negociar com outra parceira se preciso substituir.

Em relação a modularidade de projeto, a Figura 9 mostra uma adoção relativamente significativa nos casos analisados, mas sem permitir analisar a relação entre ambas tipologias de modularidade de forma mais elaborada.

Os indícios retirados a partir de evidências empíricas sinalizam a influência que ambas as tipologias pode exercer uma sobre a outra. O caso do Celta é um exemplo de um projeto novo pensado de maneira que facilite a sua produção, a fábrica por sua vez também foi construída de modo que pudesse atingir melhores níveis de produtividade de acordo com o projeto. Dentro da VW diz-se que a divisão de módulos do Gol foi influenciada pelo seu processo de produção (MELLO, 2006), módulos comuns a outros projetos foram desenvolvidos internamente e são entregues como componentes separados.

De fato, o que a classificação sobre a adoção da modularidade mostra são os casos do Celta e Ecosport sendo os maiores casos de aplicação da modularidade de produção em veículos de passeio com participação da engenharia brasileira em seu projeto. Isso se deve, principalmente, em razão do seu arranjo em forma de condomínio industrial e pela menor propriedade de ativos (caso do Celta) e pelo diferenciado sistema de gestão de RH (caso do Ecosport). Estes dois projetos de veículos citados posicionaram-se em modularidade de produção ligeiramente à frente do Fox, seguido por Sandero e Palio empatados e, por último, o Meriva.

No outro eixo da matriz apresentada na Figura 9, destacam-se Ecosport e Palio. O caso do Palio se destaca em modularidade de projeto, em função da sua alta compatibilidade entre os seus módulos. Em contraponto, o projeto de veículo com menor adoção da modularidade de projeto foi o Meriva, apresentando baixa independência, “substituibilidade” e comonalidade. Um pouco a frente, seguindo do menos modular para o mais modular, aparecem os casos do Sandero, Celta e Fox.

O projeto do Celta teve seu desenvolvimento conjuntamente com a construção da fábrica, o que faz permanecer a questão, sobre qual tipologia influencia mais fortemente a outra tipologia de modularidade, dado que, segundo a avaliação deste trabalho, ele está posicionado na fronteira de projeto integral e projeto modular. No caso do Meriva, onde não foram observadas grandes relações com a modularidade em nenhuma das tipologias estudadas, sendo classificado como projeto integral e produção convencional, percebe-se que o projeto ficou em um patamar bem abaixo dos demais casos analisados.

Os resultados do trabalho são reflexos do cenário da indústria automotiva nos últimos anos, com a evolução e o crescimento do setor no cenário brasileiro, ganhando inclusive participação de destaque no mercado mundial, sendo uma das referências (ao menos para os mercados emergentes) para o desenvolvimento de novos produtos e produção, surge espaço para que a modularidade torne-se cada vez mais relevante estrategicamente. Observa-se a adoção da estratégia modular não somente pelas atualizações das plantas industriais mais antigas, mas principalmente pelas fábricas mais novas, construídas fora do grande ABC, sendo construídas ou remodeladas dentro de um novo padrão com maior participação dos fornecedores externos.

A modularidade em produção mostra-se uma realidade no país, visto que, desde a implantação do consórcio modular em Resende, todas as demais fábricas construídas seguiram o conceito de arranjo muito próximo ao realizado pela VW na planta de caminhões, em maior ou menor grau. O mesmo não pode ser afirmado em relação a modularidade de projeto, pois ainda existem poucos projetos de veículos considerados como essencialmente modular. Como demonstrado no trabalho, conclui-se, a partir dos veículos estudados e a proposta elaborada, que a maioria se posiciona como projeto integral.

Cabe ressaltar que o posicionamento dos projetos de veículos nos quadrantes que classificam os projetos em modularidade de produção (convencional ou modular) e modularidade de projeto (integral ou modular) da matriz da Figura 9, poderia resultar de maneira diferente caso outros métodos de quantificação da classificação qualitativa fossem elaborados. Finalmente, o capítulo final destaca a seguir as conclusões do presente trabalho.

## **7. CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES DO ESTUDO E FUTURAS PESQUISAS**

Primeiramente, pode citar que o presente trabalho de dissertação cumpriu seu objetivo de identificar os projetos de veículos de passeio com participação da engenharia brasileira, a partir do ano 2000, e desenvolver uma proposta para mensurá-los quanto ao grau de adoção da modularidade. A comparação em projetos de veículos de diferentes montadoras permitiu visualizar diferenças na aplicação das tipologias de modularidade analisadas, relatadas neste capítulo, assim como outras conclusões obtidas com o trabalho, as suas limitações e recomendações para pesquisas futuras. As conclusões aqui apresentadas são reflexões do cenário estudado e não permite uma generalização para outros projetos de veículos, senão aqueles tratados no texto.

Um dos objetivos específicos do trabalho foi identificar as empresas e os projetos de desenvolvimento de veículos realizados no país. Apesar de alguns projetos identificados não possuírem dados que caracterizassem os elementos de modularidade de projeto e de produção, definidos para sustentar a classificação dos projetos de veículos (outro objetivo específico), o grupo de veículos analisados mostrou diferenças na condução dos respectivos desenvolvimentos e da organização da produção. Em linha com a literatura, ficou constatado no grupo de veículos analisado que não há uma divisão padrão de arquitetura de produto e tampouco de módulos. A afirmação que “pode existir produção modular sem projeto modular” e vice-versa pode ser constatado com o exemplo do módulo do motor, um projeto feito separadamente do projeto de desenvolvimento do carro e que pode ser produzido independente e montado na linha de produção e, ainda, em diferentes modelos de veículos. Por meio da proposta desenvolvida, também se pode confirmar que isso pode ocorrer, como demonstrado no caso do Renault Sandero (produção modular e projeto integral).

Pelos resultados obtidos pela proposta de classificação apresentada, a modularidade de produção mostra dois grupos de veículos distintos. Um grupo com certa maturidade no uso da modularidade e outro grupo de veículos com a adoção da modularidade mais incipiente em suas fábricas. Um ponto relevante em relação aos projetos de veículos com menor grau de adoção da modularidade em sua produção é que as duas fábricas mais antigas (Fiat em Betim e GM de São José dos Campos) analisadas no trabalho apresentaram um menor grau de adoção da modularidade. Embora, em ambas as tipologias de modularidade, os casos analisados ainda estejam aquém do que seria

considerado o “estado da arte”, de forma geral, a modularidade de produção mostra um grau de adoção mais extensivo. Em contra-partida, esta constatação pode indicar uma maior dificuldade na adoção da modularidade de projeto. Deve-se ainda considerar que os projetos de veículos desenvolvidos no país são do tipo derivativo, o que pode também limitar o projeto modular de modo extensivo.

Em relação a modularidade projeto foi observado que, dos três projetos de veículos com menor grau de adoção da modularidade, o projeto do Meriva e do Celta, permanecem por maior tempo sem ter modificações ou atualizações no *design* do produto (os chamados *face lifts* no setor automotivo). Este fato também pode sugerir uma maior dificuldade em atualizar ou realizar mudanças nos projetos integrais, já relatadas na literatura.

O trabalho também indica que há uma mudança na governança da cadeia produtiva automotiva nos casos analisados, em relação a posição da montadora que outrora se caracterizava por ser rígida, mandatária e de extremo poder sobre seus fornecedores. Foram identificados alguns módulos, principalmente bancos e *cockpit*, que são frequentemente externalizados, onde há uma negociação entre fornecedor e cliente, até mesmo porque já existem fornecedores capazes de apresentar projetos com significativa agregação de valor. No entanto, estes fatos não foram analisados em profundidade no presente trabalho.

Em relação ao posicionamento dos projetos de veículos na matriz de classificação apresentada no capítulo anterior (Figura 9), nota-se uma concentração dos projetos de veículos em uma “região diagonal central” do gráfico, onde se os projetos posicionam distribuídos nesta região, sugerindo uma relação entre as tipologias de modularidade analisadas, onde os projetos de veículos tendem a se posicionar.

O método proposto para mensurar o grau de adoção da modularidade em projetos de veículos traz resultados que ilustram a situação atual do uso da modularidade nos projetos selecionados. Entretanto, a dificuldade de obtenção de dados que forneçam de forma explícita as características de modularidade definidas no capítulo 5 pode, em alguns momentos, gerar uma discrepância dos resultados finais apresentados. Ressalta-se aqui que a dificuldade em classificar alguns dos elementos definidos, pela não disponibilidade de dados, influencia diretamente na pontuação final ponderada obtida por alguns dos projetos de veículos selecionados, utilizada para mensurar o grau de adoção da modularidade.

O fato mais relevante da proposta, nesse sentido, é em relação à modularidade de produção, que é analisada sob quatro aspectos. O

principal deles, o tipo de arranjo, tem a forma de consórcio modular tido no trabalho como o grau máximo neste quesito, ou seja, com fornecedores presentes nas mesmas instalações que a montadora, executando atividades diretamente na linha de montagem. De certa forma, esse tipo de arranjo já acarreta em um certo grau de terceirização de atividades, que é o segundo quesito analisado. A gestão de recursos humanos é outro aspecto analisado na modularidade de produção e trata de uma questão de opção das montadoras. Por fim, o último aspecto analisado, a propriedade de ativos, quando em um consórcio modular (montadora e fornecedores sob o mesmo teto) torna-se difícil acreditar que o terreno, edificações, áreas de apoio (refeitório etc.) seja “dividido” em menores frações para que sejam divididos também os custos e riscos, dado que os fornecedores produzem exclusivamente para a montadora. Ou seja, ao ter um arranjo mais modular possível, dificilmente conseguirá ter a propriedade de ativos mais modular possível.

A não realização de coleta de dados de campo em todos os projetos analisados limita a avaliação da proposta do presente estudo, assim como uma não verificação junto a especialistas. A coleta de dados realizada com base em publicações qualificadas sobre o tema restringe a análise das informações disponíveis por esse meio. Alguns dados não estavam disponíveis em publicações ou não apresentavam a riqueza de detalhes necessária para uma análise mais profunda. Quando as informações disponíveis sobre algum projeto não possibilitaram a análise do mesmo, buscou-se a aplicação do questionário mostrado no apêndice A. Os projetos de veículos que não obtiveram retorno do questionário foram descartados da análise final.

Diferentemente de outros estudos, que comparam aspectos da modularidade em projetos de carros de uma mesma montadora desenvolvidos localmente com carros desenvolvidos globalmente, neste estudo procurou-se comparar carros desenvolvidos localmente de diferentes montadoras. Obviamente, existe uma diferença natural na condução de cada projeto de veículo, devido a culturas e estratégias inerentes a cada empresa (temas não tratado no presente estudo), tanto em relação a modularidade de projeto como em relação a modularidade de produção, que pode gerar pontos de interpretação na avaliação de cada projeto. Isso pode ser exemplificado através de alguns autores que afirmam, por exemplo, que a extensão da terceirização de tarefas depende das estratégias das montadoras de repassar apenas a capacidade de produzir, ou de incluir no repasse também o conhecimento.

O trabalho não permite categoricamente afirmar em que grau um evento impacta em outro - modularidade de projeto e modularidade

de produção - possibilidade a ser investigada em estudos futuros. Vale ressaltar ainda, que permanecendo essa questão sobre a influência de uma tipologia sobre a outra, não possibilitando maiores conclusões, essa lacuna pode ser verificada futuramente através de outras formas de análise, inclusive, empiricamente. Outro ponto importante que permanece para ser investigado são as barreiras para adoção da modularidade, citando-se especificamente da modularidade de projeto, que apresentou no trabalho um grau menor de adoção do que a modularidade de produção, indicando uma dificuldade e uma complexidade maior.



## REFERÊNCIAS

AMATUCCI, M. Diferenças entre first movers e late movers na capacitação para o desenvolvimento de produtos na indústria automobilística. **Revista de Administração e Inovação**, v. 7, n. 4, p. 66-86, 2010.

AMATUCCI, M.; BERNARDES, R.C. O Novo Papel das Subsidiárias de Países Emergentes na Inovação em Empresas Multinacionais: o caso da General Motors do Brasil. **RAI – Revista de Administração e Inovação**, v. 4 n. 3, p. 1-15, 2007.

AMATUCCI, M., BERNARDES, R. C. Building Competencies for Product Development in Brazilian Subsidiaries of MNCs of the Automotive Industry. São Paulo. **SAE Technical Papers**, v. 36, n. 0308, 2008.

AMATUCCI, M.; BERNARDES, R. C. Impacto do desenvolvimento de produtos sobre a estratégia da subsidiária: dois casos no setor automotivo brasileiro. **Revista P&D em Engenharia de Produção**, v. 7, n. 1, p. 20-36, 2009a.

AMATUCCI, M.; BERNARDES, R. C. Formação de competências para o desenvolvimento de produtos em subsidiárias brasileiras de montadoras de veículos. **Produção**, v. 19, n. 2, p. 359-375, 2009b.

AMATUCCI, M.; MARIOTTO, F.L. The internationalisation of the automobile industry and the roles of foreign subsidiaries. **International Journal of Automotive Technology and Management**, v. 12, n.1, 2012.

ANDO, R. **A modularidade e seus impactos no desenvolvimento de novos produtos e processos na indústria automobilística**. Dissertação de Mestrado, FEA-USP, São Paulo, 2004.

ARNHEITER, E. D.; HARREN, H. A typology to unleash the potential of modularity. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 16, n.7, p. 699-711, 2005.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES – ANFAVEA. **Anuário estatístico da indústria automobilística brasileira**. São Paulo, 2011.

BALDWIN, C. Y.; CLARK, K. B. Managing in an age of modularity. **Harvard Business Review**, p. 84–93, Sept./Oct. 1997.

BALDWIN, C.Y., CLARK, K.B., **Design Rules**. v. 1. The Power of Modularity. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 2000.

BALDWIN, C.Y.; CLARK K.B. Modularity in the Design of Complex Engineering Systems. Disponível em: <<http://www.people.hbs.edu/cbaldwin/DR2/BaldwinClarkCES.pdf> 01/2004>. **Consortia. European Management Journal** v. 15, n. 5, p. 498-508, 2004.

BATCHELOR, J. Modularisation and the changing nature of automotive design capabilities. **International Journal of Automotive and Technology and Management**, v. 6, n. 3, p. 276-297, 2006.

BEBENSAT, I. GOLDSTEIN, D.K., MEAD, M. The case research strategy in studies of information systems. **Management Information Systems Quarterly**, v. 11, n. 3, p. 369-386, 1987.

BRUSONI, S.; PRENCIPE, A. Unpacking the Black Box of modularity: Technologies, products and organizations. **Industrial and corporate change**, v. 10, n. 1, p. 179-205, 2001.

CAMPAGNOLO, D.; CAMUFFO, A. The concept of modularity in management studies: A literature review. **International Journal of Management Reviews**, 2009.

CAMUFFO, A. **Rolling out a world car: globalization, outsourcing and modularity in the auto industry**. Italy. Department of Business Economics and Management Ca' Foscari University of Venice, 2000.

CAPES, **Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior**. Disponível em: < <http://www.capes.gov.br/>>. Acesso em 10 de nov. 2011.

CARDOSO, M.A.; KISTMANN, V.B. Modularização e design na indústria automotiva: O caso do modelo Fox da Volkswagen do Brasil. **Revista Produção On-line**, v. 13, n. 4, 2008.

CARNEVALLI, J.A.; VARANDAS JUNIOR, A.; MIGUEL, P.A.C.; Uma investigação sobre os benefícios e dificuldades na adoção da modularidade em uma montadora de automóveis. **Produto & Produção**, v 12, n. 1, p 60-90, 2011.

CARVALHO, E. G. **A comparative study on product and R&D strategies of majors assemblers of brazilian car industry**, Tenth GERPISA international colloquium, 6-8 jun 2002, Paris, France.

CAUCHICK MIGUEL, P.A.C. The potential of new product development in the automotive industry in Brazil: an exploratory study. **Product: Management & Development**, v 4, n. 1, 2006.

CAUCHICK MIGUEL, P. A. Implementação da gestão de portfólio de novos produtos: um estudo de caso. **Produção**, v.18, n.2, p. 388-404, 2008.

CAUCHICK MIGUEL, P.A.; HSUAN, J. An exploratory investigation on modularity adoption in design and production through a case-based research in a Brazilian automaker. **Product: Management & Development**, v. 8, n. 2, 2010.

CERQUEIRA, D.F. **A nova indústria incentivada da Bahia: o caso da FORD Camaçari**. XIII Encontro Nacional de Economia Política, João Pessoa/PB, de 20 a 23 de maio de 2008.

CLARK, K. B.; WHEELWRIGHT, S. C. **Managing new product and process development**. New York: Fress Press, 1993.

COLLINS, R., BECHLER, K., PIRES, S. Outsourcing in the automotive industry: From JIT to modular consortia. **European Management Journal**, v. 15, n. 5, p. 498-508, 1997.

CONNOLLY, C. Robots at the heart of Schubert packaging machinery lead to great flexibility. **Industrial Robot: An International Journal**, v. 34, n. 4, p. 277-280, 2007.

CONSONI, F. L. **Da tropicalização ao projeto de veículos**: um estudo das competências em desenvolvimento de produto nas montadoras de automóveis no Brasil. Tese de doutoramento. Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil, 2004.

CONSONI, F.; QUADROS, R. Between centralization and decentralization of product development in multinational corporations: Recent trajectories in Brazilian subsidiaries of car assemblers. **FACES R. ADM**, v. 3, n. 1, p. 18-30, 2004.

CONSONI F., QUADROS R. From adaptation to complete vehicle design, a case study of product development capabilities in a carmaker in Brazil. **International Journal of Technological Management**, v. 36, n. 1–3, p.91–107, 2006.

CONVERSANI, A. **O desafio de integrar diferentes culturas organizacionais**: o caso do Complexo Industrial Automotivo de Gravataí. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

DANESE, P.; FILIPPINI, R. Modularity and the impact on new product development time performance. **International journal of operations & production management**, v. 30, n. 11, p 1191-1209, 2010.

DIAS, A. V. C. **Consórcio modular e condomínio industrial**: elementos para análise de novas configurações produtivas na indústria automobilística. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia de Produção, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1998.

DIAS, A.V.C. **Produto mundial, engenharia brasileira**: Integração de subsidiárias no desenvolvimento de produtos globais na indústria automobilística. Tese apresentada à Escola Politécnica da universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

DIAS, A.V.C. **Descentralização do desenvolvimento de produtos globais no setor automotivo: Proposições para a participação brasileira**. XXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, ENEGEP, 2001.

DIAS, A.V. C.; GALINA, S. V. R. Participação das Subsidiárias Brasileiras no desenvolvimento Tecnológico Global: Estudos de Casos nos Setores Automotivo e de telecomunicações. **Anais do XX Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, 2000.

DIAS, A. V. C.; SALERNO, M. S. **Condomínios Industriais: Novas Fábricas, Novos Arranjos Produtivos e Novas Discussões na Indústria Automobilística Brasileira**. In: Congresso nacional de engenharia de produção, 19, 1999. Rio de Janeiro, RJ. Anais. Rio de Janeiro: UFRJ, 1999.

DIAS, A. V. C., SALERNO, M. S. Descentralização das atividades de pesquisa, desenvolvimento e engenharia de empresas transnacionais: uma investigação a partir da perspectiva de subsidiárias automotivas. **Gestão e Produção**, v. 16, n.2, p. 187-199, 2009.

DIAS, A. V. C., SALERNO, M. S. International division of labour in product development activities: towards a selective decentralization. **International Journal of Automotive Technology and Management**, v.4, n. 2-3, 2004.

DORAN, D. Manufacturing for synchronous supply: a case study of Ikeda Hoover Ltd. **Integrated Manufacturing Systems**, v. 13, n. 1, p. 18-24, 2002.

DORAN, D. Supply chain implications of modularization. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 23, n.3, p.316–326, 2003.

DORAN, D. Rethinking the supply chain: na automotive perspective. **Supply Chain Management: An International Journal**, v. 9, n. 1, p. 102-109, 2004.

DORAN, D. Supplying on a modular basis: an examination of strategic issues. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 35, n. 9, p.654-663, 2005.

DORAN, D.; HILL, A.; HWANG, K.; JACOB, G. Supply chain modularisation: Cases from the French automobile industry. **International Journal of Production Economics**, v. 106, n. 1, p. 2-11, 2007.

DURAY, R., WARD, P.T., MILLIGAN, G.W., BERRY, W.L.  
Approaches to mass customization: configurations and empirical validation. **Journal of Operations Management**, v.18, p.605–625, 2000.

ENCICLOPÉDIA DO AUTOMÓVEL. Editora Abril Cultural, v. 8, 1974.

FEITZINGER, E.; LEE, H. L. Mass customization at hewlettpackard: The power of postponement. **Harvard Business Review**, v. 75, n. 1, p. 116–21, 1997.

FINE, C. H. **Clockspeed: Winning Industry Control in the Age of Temporary Advantage**. Perseus Books, New York, 1998.

FISHER, M.; RAMDAS, K.; ULRICH, K. Component sharing in the management of product variety: A study of automotive braking systems. **Management Science**, v. 45, no. 3, pp. 297–315, 1999.

FIXSON, S.K. Product architecture assessment: a tool to link product, process, and supply chain design decisions. **Journal of Operations Management**, v. 23, p. 345-369, 2005.

FIXSON, S.K. **The multiple faces of modularity—a literature analysis of a product concept for assembled hardware products**. Technical Report 03-05. Industrial & Operations Engineering, University of Michigan, Ann Arbor, MI, p. 87, 2003.

FREDRIKSSON, P. Operations and logistics issues in modular assembly processes: cases from the automotive sector. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 17, n. 2, p. 168-186, 2006a.

FREDRIKSSON, P. Cooperation and conflict in modular production and supplier parks: the case of Volvo Cars' modular assembly system. **International Journal of Automotive Technology and Management**, v. 6, n. 3, p. 298-314, 2006b.

FREDRIKSSON, P. Mechanisms and rationales for the coordination of a modular assembly system – the case of Volvo cars. **International**

**Journal of Operations and Production Management**, v. 26, n. 4, p. 350-370, 2006c.

FRIGANT, V.; LUNG, Y. Geographical proximity and supplying relationships in modular production. **International Journal of Urban and Regional Research**, v. 26, n. 4, p. 742-755, 2002.

GADDE, L.E.; JELLBO O. System sourcing - opportunities and problems. **European Journal of Purchasing & Supply Management**, v. 8, n. 1, p. 43-51, 2002.

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. São Paulo: Atlas, 1999.

GM, site oficial. **Novo Trailblazer**. Disponível em:

<[http://media.gm.com/content/media/us/en/gm/news.detail.html/content/Pages/news/us/en/2011/Nov/1110\\_trailblazer](http://media.gm.com/content/media/us/en/gm/news.detail.html/content/Pages/news/us/en/2011/Nov/1110_trailblazer)> Acesso em: novembro 2011.

GONZALEZ-ZUGASTI, J.P., OTTO, K.N. **Modular platform-based product family design**. Proceedings of DETC 2000. ASME Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, Baltimore, Maryland, September 10-13, 2000.

GRAZIADIO, T. **Estudo comparativo entre os fornecedores de componentes automotivos de plantas convencionais e modulares**. Tese apresentada à Escola Politécnica da universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

GUARNIERI, P.; HATAKEYAMA, K.; RESENDE, L. M. Estudo de caso de um condomínio industrial na indústria automobilística: Caso GM Gravataí. **Revista Produção On Line**, v. 9, n. 1, p. 48-72, 2009.

HENDERSON, R.M., CLARK, K.B. Architectural innovation: the reconfiguration of existing product technologies and the failure of established firms. **Administrative Science Quarterly**, v. 35, p.9-30, 1990.

HOEK, I. R.V.; WEKEN, A. M. H. The Impact of Modular Production on the Dynamics of Supply Chains. **International Journal of Logistics Management**, The, v. 9, n. 2, p. 35-50, 1998.

HOLMES, J. Re-scaling collective bargaining: union responses to restructuring in the North American auto industry. **Geoforum**, v. 35, n. 1, p. 9-21, 2004.

HSUAN, J.; HANSEN, P.K. Platform development: implications for portfolio management. **Gestão e Produção**, v. 14, n. 3, p. 453-461, 2007.

IBUSUKI, U.; KOBAYASHI, H.; KAMINSKI, P.C. Localisation of product development based on competitive advantage of location and government policies: a case study of car makers in Brazil. **International Journal of Automotive Technology and Management**, v. 12, n. 2, 2012.

ISHII, K., YANG, T. **Modularity: international industry benchmarking and research roadmap**. Proceedings of ASME 2003 Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, Chicago, IL, 2-6 September, 2003.

JACOBS, M.; DROGE, C.; VICKERY, S.K. Product and process modularity's effects on manufacturing agility and firm growth performance. **The Journal of Product Innovation Management**, 28, p 123-137, 2011.

KUSIAK, A. Integrated Product and Process Design: a Modularity Perspective. **Journal of Engineering Design**, v. 13, n. 3, p. 223-231, 2002.

LACERDA, R. T. O.; ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R. A performance measurement framework in portfolio management: A constructivist case. **Management Decision**, v. 49, n.4, p. 648-668, 2011.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 6ªed., São Paulo: Atlas, 2006.

LANGLOIS, R.N. Modularity in technology and organization. **Journal of Economic Behavior & Organization** v. 49 n.1, 19–37, 2002.



LANGLOIS, R. N., ROBERTSON, P. L. Network and innovation in a modular system: Lessons from the microcomputer and stereo component industries. **Research Policy** v. 21, p. 297–313, 1992.

LARSSON, A. The development and regional significance of the automotive industry: supplier parks in western Europe. **International Journal of Urban and Regional Research**, v. 26, n. 4, p. 767-784, 2002.

LAU, A.K.W.; YAM, R.C.M.; TANG, E. Factors influencing the relationship between product modularity and supply chain integration. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 30, n. 9, p 951-977, 2010.

LAU, K. W. A., R. C. M; YAM, TANG E. The impacts of product modularity on competitive capabilities and performance: An empirical study. **International Journal of Production economics**, v.105, n.1, p. 1–20, 2007.

LUNG, Y. **Os mercados emergentes do automóvel na década de 90 — motivações e limitações**. Nexos Econômicos. Salvador: UFBA–FCE-CME, v. 2, n.1, 2000.

MAIER, M.; RECHTIN, E. **The art of systems architecting**. CRC Press, 2000.

MALDONADO, M. U.; SILVA SANTOS, J. L.; SANTOS, R. N. M. **Inovação e Conhecimento Organizacional: uma mapeamento bibliométrico das publicações científicas até 2009**. In: XXXIV ENCONTRO DA ANPAD, Rio de Janeiro, set., 2010.

MARTIN, J.; EISENHARDT, K. **Cross-business synergy: recombination, modularity, and the multi-business team**. Working paper, University of Texas at Austin, 2002.

MARX, R.; ZILBOVICIUS, M.; SALERNO, M. S. The modular consortium in a new VW truck plant in Brazil: new forms of assembler and supplier relationship. **Integrated Manufacturing Systems**, v. 8, n. 5, p. 292-298, 1997.

MELLO, A. M. **Manutenção da capacidade inovadora na externalização do desenvolvimento de produtos: o caso da indústria automobilística.** Dissertação apresentada à Escola Politecnica da universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

MELLO, A.M. de; MARX, R. Innovative capacity maintenance by automakers in a product development outsourcing scenario: the case of VW in Brazil. **International Journal of Automotive Technology and Management**, v. 7, n. 2, 2007a.

MELLO, A.M. de, MARX, R. Conhecimento de arquitetura de produto como elemento chave para a manutenção da capacidade inovadora de uma empresa – O caso da indústria automotiva. **Revista Gestão Industrial**, v. 3, n. 2, p. 74-87, 2007b.

MIKKOLA, J. H.; GASSMANN, O. Managing modularity of product architectures: Toward an integrated theory. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 50, n. 2, p. 204-218, 2003.

MIKKOLA, J.H.; SKJOTT-LARSEN, T. Platform management: Implication for new product development and supply chain management. **European Business Review**, v. 18, n. 3, p. 214-230, 2006.

MORRIS, D.; DONNELLY, T. Are there market limits to modularization. **International Journal of Automotive Technology and Management**, v. 6, n. 3, p.262-275, 2006.

ORSATO, R. J.; WELLS, P. U-turn: the rise and demise of the automobile industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 15, n. 11-12, p. 994-1006, 2007.

PANDREMENOS, J., PARALIKAS, J., SALONITIS, K., CHRYSSOLOURIS, G. Modularity concepts for the automotive industry: A critical review. **CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology**, v. 1, n. 3, p. 148-152, 2009.

PARALIKAS, J.; FYSIKOPOULOS, A.; PANDREMENOS, J. Product modularity and assembly systems: An automotive case study. **CIRP Annals – Manufacturing technology** 60, p 165-168, 2011.

PERSSON, M. Effects of changing a module's interface: a case study in an automotive company. **International Journal of Automotive Technology and Management**, v. 6, n. 3, 2007.

PIRES, S. New productive system in the auto industry: the current situation of three innovative plants in Brazil. **International Journal of Automotive Technology and Management**, v. 2, n. 1, p. 46-62, 2002.

PIRES, S.R.I. **New productive systems in the auto industry: the managerial challenges of automakers and suppliers at here new Brazilian plants**. GERPISA 9 reencontre, Paris, 2001.

PIRES, S. R. I. Managerial implications of the modular consortium model in a Brazilian automotive plant. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 18, n. 3, p. 221, 1998.

PIRES, S.R.I., SACOMANO NETO, M. Características estruturais, relacionais e gerenciais na cadeia de suprimentos de um condomínio industrial na indústria automobilística. **Produção**, v. 20, n. 2, p. 172-185, 2010.

QUADROS, R.; CONSONI, F. Innovation capabilities in the Brazilian automobile industry: a study of vehicle assemblers' technological strategies and policy recommendations. **International J. Technological Learning, Innovation and Development**, v. 2, n.1-2, 2009.

QUATRO RODAS, Revista Especial. **“O carro no Brasil”** ano 42/ n° 10, Editora Abril, São Paulo, 2002.

QUATRO RODAS, Revista. **Acompanhe o novo Gurgel na reta final**. Editora Abril, n. 327, p. 76-83, out. 1987.

RENAULT. Palestra institucional, UFSC, 10 de novembro, 2010.

RO, Y. K.; LIKER, J. K.; FIXSON, S. K. Modularity as a strategy for supply chain coordination: The case of U.S. Auto. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 54, n. 1, 2007.

SAKO, M. Administrando parques industriais de autopeças no Brasil: uma comparação entre Resende, Gravataí e Camaçari. **Caderno CRH**, Salvador, v. 19, n. 46, p. 61-73, 2006.

SAKO, M. **Modularity and outsourcing: the nature of co-evolution of product architecture and organization architecture in the global automotive industry.** Eleventh GERPISA International Colloquium, Paris, 2003.

SAKO, M., MURRAY, F. **Modules in design, production and use: implications for the global automotive industry.** International Motor Vehicle Program (IMVP) Annual Sponsors Meeting, Cambridge Massachusetts, USA, 5-7 October, 1999.

SALERNO, M. S. The characteristics and the role of modularity in the automotive business. **International Journal of Automotive Technology and Management**, v. 1, n. 1, p 92-107, 2001.

SALERNO, M. S.; CAMARGO, O. S.; LEMOS, M. B. Modularity ten years after: An evaluation of the Brazilian experience. **International Journal of Automotive Technology and Management**, v. 8, n. 4, p. 373-381, 2008.

SALERNO, M. S. ; DIAS, A. V. C. **Product design modularity, modular production, modular organization: the evolution of modular concepts.** Actes du GERPISA, Paris, v. 33, n. mar, p. 61-72, 2002.

SALERNO, M.S., MARX, R., ZILBOVICIUS, M., DIAS, A.V.C. The importance of locally commanded design for the consolidation of local supply chain: the concept of design headquarters. **Int. J. Manufacturing Technology and Management**. v. 16, n. 4, p.361-376, 2009.

SALVADOR, F. Toward a product system modularity construct: Literature review and reconceptualization. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 54, n. 2, 2007.

SANCHEZ, R.; COLLINS, R. P. Competing - and learning- in modular markets. **Long Range Planning**, v. 34, n. 6, p. 645-667, 2001.

SANCHEZ, R., MAHONEY, J.T. Modularity, flexibility, and knowledge management in product and organization design. **Strategic Management Journal** 17, p. 63-76 (Winter Special Issue), 1996.

SANTO, A. C. M.; DAXBACHER, E. F. **Caso de sucesso: Em busca da excelência em planejamento e controle.** 5o Congresso de gerenciamento de projetos do PMI-MG, 8-10 Nov 2010, Belo Horizonte, Brasil.

SCAVARDA, L. F., BARBOSA, T. P. W. HAMACHER, S. Comparação entre as tendências e estratégias da indústria automotiva no Brasil e na Europa. **Gestão e Produção**, v. 12, n. 3, p. 361-375, 2005.

SCHILLING, M.A., 2000. Towards a general modular systems theory and its application to interfirm product modularity. **Academy of Management Review** 25 (2), 312–334, 2000.

SILVA, S.L. DA; ROZENFELD, H. Model for mapping Knowledge Management in product development: a case study at a truck and bus manufacturer. **International Journal of Automotive Technology and Management**, v. 7, n. 2-3, p. 216-234, 2007.

SIMON, H.A. **The architecture of complexity** in Proceedings of the American Philosophical Society, v. 106, n. 6, p. 467–482. 12 dezembro de 1962.

SPATH, D.; BAUMEISTER M. Synchronization of material flow and assembly in hybrid and modular systems. **Assembly Automation**, v. 21, n. 2, p. 152-157, 2001.

STARR, M.K. Modular-production: A new concept. **Harvard Business Review**, v. 43, p. 131–142, Nov.–Dec. 1965.

SUGIYAMA, Y.; FUJIMOTO, T. Product development strategy in Indonesia: a dynamic view on global strategy, In: Humphrey, Lecler e Salerno. **Global Strategies and Local Realities**. London: McMillan Press Ltd, 2000.

SUZIK, H. A. **GM announces modularity project.** *Quality*, v. 38 n. 5, p. 14, 1999.

TEIXEIRA, F.L.C; VASCONCELOS, N. **Mudanças estruturais e inovações organizacionais na indústria automotiva. Conjuntura e planejamento.** Salvador: SEI, n.66, 1999.

TOLEDO, J.C.; MARTINS, M.F.; SILVA, S.L.; ALLIPRANDINI, D.H. Participation of suppliers in product development process: the case of the Fiat New Palio. **Product: Management & Development**. v. 2, n. 1, p. 53-67, 2003.

TROLLER, site oficial. História da Troller. Disponível em: <<http://www.troller.com.br/sobre/historia-da-troller/>> Acesso em: novembro 2011.

TU, Q., M. A.; VONDEREMBSE, T. S.; RAGU-NATHAN; B. RAGUNATHAN. Measuring modularity-based manufacturing practices and their impact on mass customization capability: A customer-driven perspective. **Decision Sciences**, v. 35, n. 2, p. 147–68, 2004.

ULRICH, K.T. The role of product architecture in the manufacturing firm. **Research Policy** 24, 419–440, 1995.

ULRICH K., EPPINGER S. D. **Product Design and Development**. New York: McGraw-Hill, 1995.

ULRICH, K.T., PEARSON, S. A. Assessing the importance of design through product archaeology. **Management Science**, v. 44, n. 3, p. 352–369, 1998.

ULRICH, K.T., TUNG, K. **Fundamentals of product modularity**. Working Paper 3335-91-MSA. MIT Sloan School of Management, Cambridge, MA, p. 14, 1991.

VASCONCELLOS, E.; HEMSLEY, J.R. **Estrutura das organizações: estruturas tradicionais, estruturas para inovação, estrutura matricial**. Pioneira Thomson Learning, São Paulo, 2002.

VELOSO, F., FIXSON, S. Make-buy decisions in the auto industry: new perspectives on the role of the supplier as an innovator. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 67, n. 2-3, p. 239-57, 2001.

WANG, H. Innovation in product architecture – A study of the Chinese automobile industry. **Asia Pacific J Management**, v. 25 p.509-535, 2008.

WOMACK, J. P., JONES, D.T., ROOS, D. **The Machine that Changed the World – The Story of Lean Production.** Rawson Associates. New York, 1990.

WORREN, N., MOORE, K., CARDONA, P. Modularity, strategic, flexibility, and firm performance: a study of the home appliance industry. **Strategic Management Journal**, v. 23, p. 1123–1140, 2002.

ZAKARIAN, A., RUSHTON, G.J. Development of modular electrical systems. **IEEE/ASME Transactions on Mechatronics**, v. 6, n.4, 2001.

ZHANG, G.W.; ZHANG, S.C.; XU, Y.S. Research on flexible transfer line schematic design using hierarchical process planning. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 129, n. 1-3, p. 629-633, 2002.

ZILBOVICIUS, M.; MARX, R.; SALERNO, M. S. A comprehensive study of the transformation of the Brazilian automotive industry. **International Journal of Automotive Technology and Management**, v. 2, n. 1, p. 10-23, 2002.

## APÊNDICE A – Roteiro para coleta de dados dos projetos

DADOS REFERENTES AO PROJETO: \_\_\_\_\_

Modularidade de projeto:

Referente a arquitetura de produto do modelo X

- 1- Quantos módulos pode ser identificados no projeto?
- 2- Dos módulos existentes, quais deles podem ser substituídos por diferentes opções de configuração?
- 3- Alguma opção de módulo não pode ser combinado com outra?
- 4- Quantos módulos foram desenvolvidos em parceria com fornecedores?
- 5- Quantos módulos foram totalmente desenvolvido por fornecedores?
- 6- Quantos módulos deste projeto são compartilhados com outros modelos da montadora?

Modularidade de produção:

- 7- Onde estão localizados os principais fornecedores?
  - a) Dentro do mesmo prédio da montadora
  - b) Dentro do mesmo terreno
  - c) Nos arredores da fábrica
  - d) Em cidades vizinhas
  - e) Outros. Especificar
- 8- A montadora tem participação na propriedade de ativos onde os fornecedores estão instalados?
  - a) Não
  - b) Sim.  
Se sim, assinalar (assinale mais de uma opção se preciso)
    - b.1) é dona do terreno
    - b.2) é dona do prédio
    - b.3) é dona de equipamentos
- 9- Quem é responsável pela montagem final na linha de produção?
  - a) Fornecedor
  - b) Montadora



- c) Montadora com auxílio direto dos fornecedores
  - d) Montadora com auxílio dos fornecedores em emergências
- 10- A montadora tem participação na gestão de recursos humanos dos fornecedores?
- a) Não
  - b) Sim
- Se sim, assinalar (assinale mais de uma opção se preciso):
- b.1) é responsável por treinamentos
  - b.2) é responsável por contratação e demissão
  - b.3) é responsável pela gestão de cargos e salários

**APÊNDICE B – Tabela de pontuação para a classificação dos níveis de modularidade**

Elementos da modularidade		Projetos					
		Fox	Celta	Meriva	Ecosport	Sandero	Palio
Modularidade de projeto	Compatibilidade	X	2	X	X	X	4
	Independência	1	1	1	X	1	2
	“Substituibilidade”	2	1	1	2	2	2
	“Comonalidade”	2	2	1	2	2	2
	Funções	4	4	2	4	2	2
Modularidade de produção	Tipo de arranjo	8	8	2	8	4	4
	Terceirização das atividades	2	2	1	2	2	2
	Propriedade de ativos	2	4	1	2	2	2
	Gestão de RH	X	2	1	4	X	X

Observações:

- X – Dado não disponível.
- As nomenclaturas utilizadas para as classificações qualitativas mostradas no trabalho (“baixo”, “moderado” e “alto”) foram convertidas nesse Apêndice B para formatos numéricos, de modo a facilitar dessa forma, a mensuração do nível de modularidade em cada quesito analisado. Foram admitidos os valores numéricos 1, 2 e 4, respectivamente

as classificações apresentadas no trabalho, “baixo”, “moderado” e “alto”. Vale lembrar que em todos os quesitos analisados quanto maior a pontuação obtida maior o nível de modularidade verificado.

- No elemento “Funções”, analisada na modularidade de projeto, as faixas consideradas arbitrariamente para a pontuação foram: até 9 módulos pontuação 1 (baixo), até 18 módulos pontuação 2 (moderado), acima de 18 módulos a pontuação dada foi 4 (alto).

- Em relação aos tipos de arranjo a pontuação dada é considerada com um peso dobrado, dada a importância da configuração do arranjo produtivo em relação a modularidade de produção. Arranjos convencionais obtiveram pontuação 2, condomínio industrial iniciante ou condomínio industrial obtiveram pontuação 4 e os condomínios industriais com avanços ou avançados obtiveram pontuação 8.